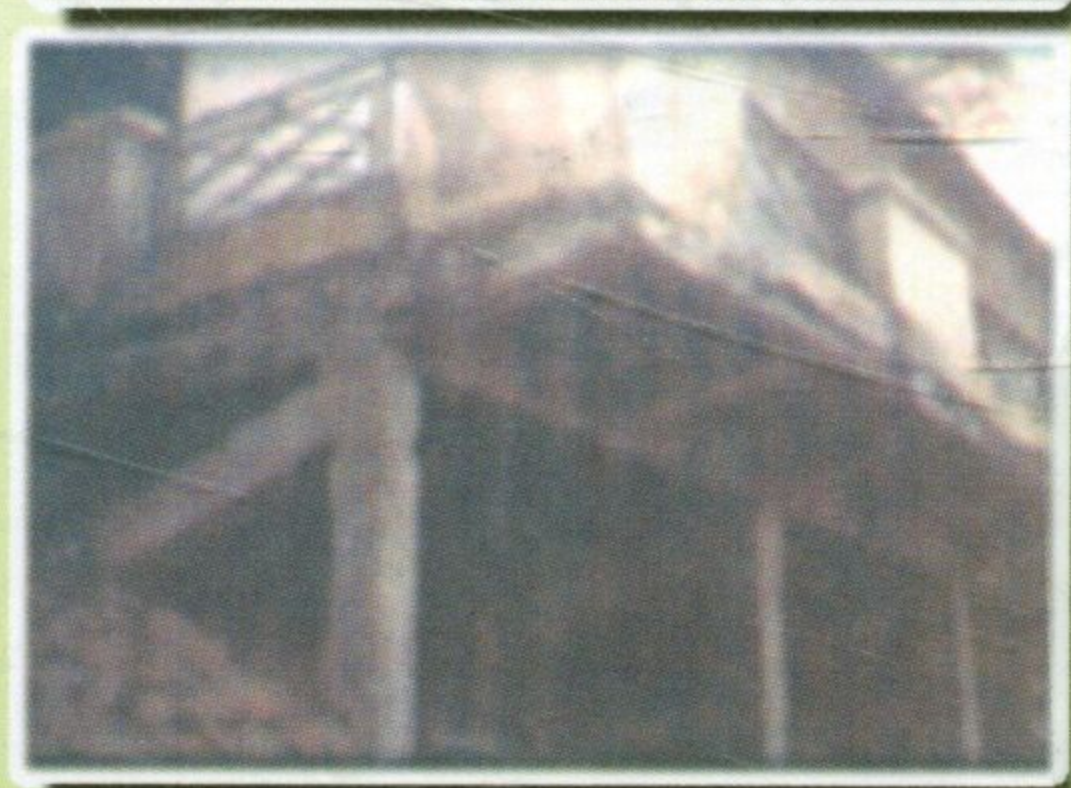
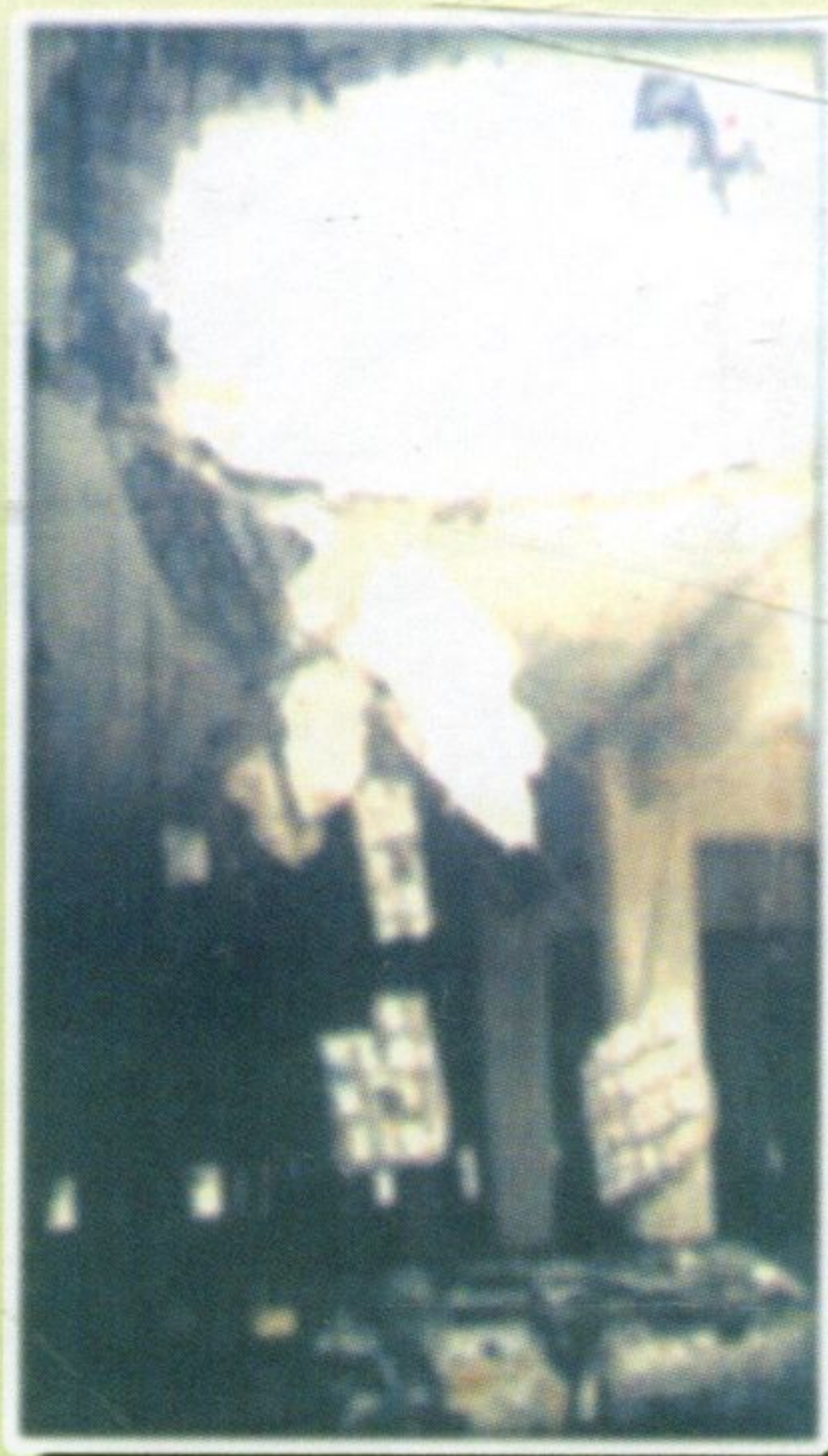
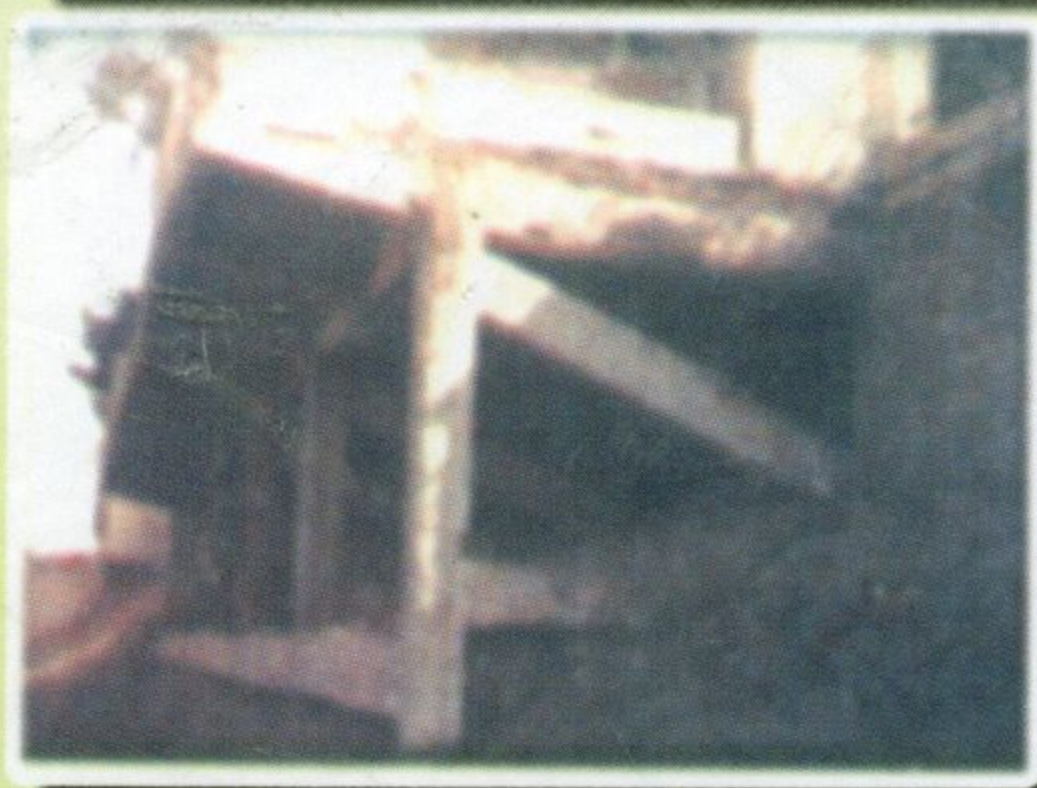
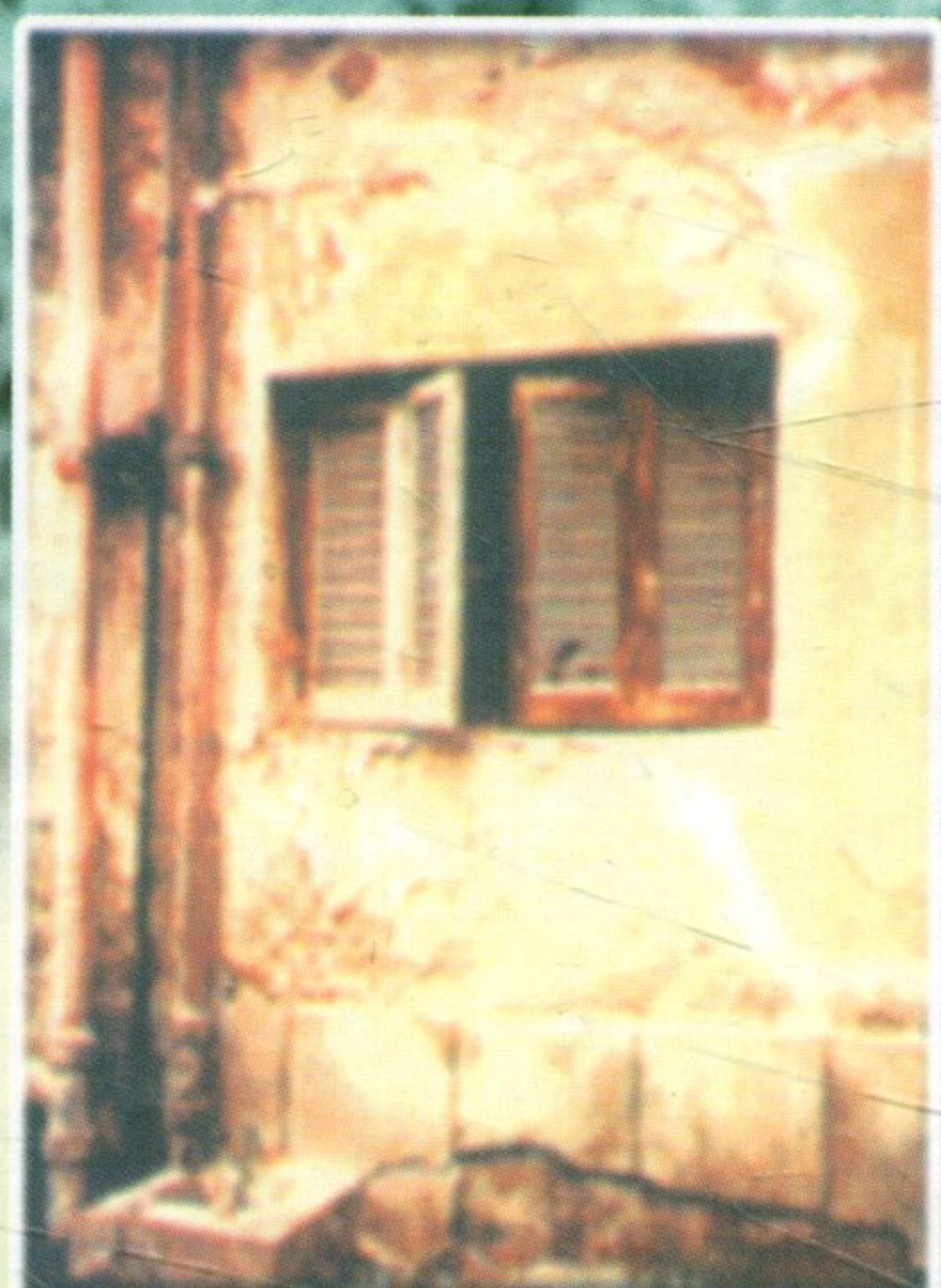
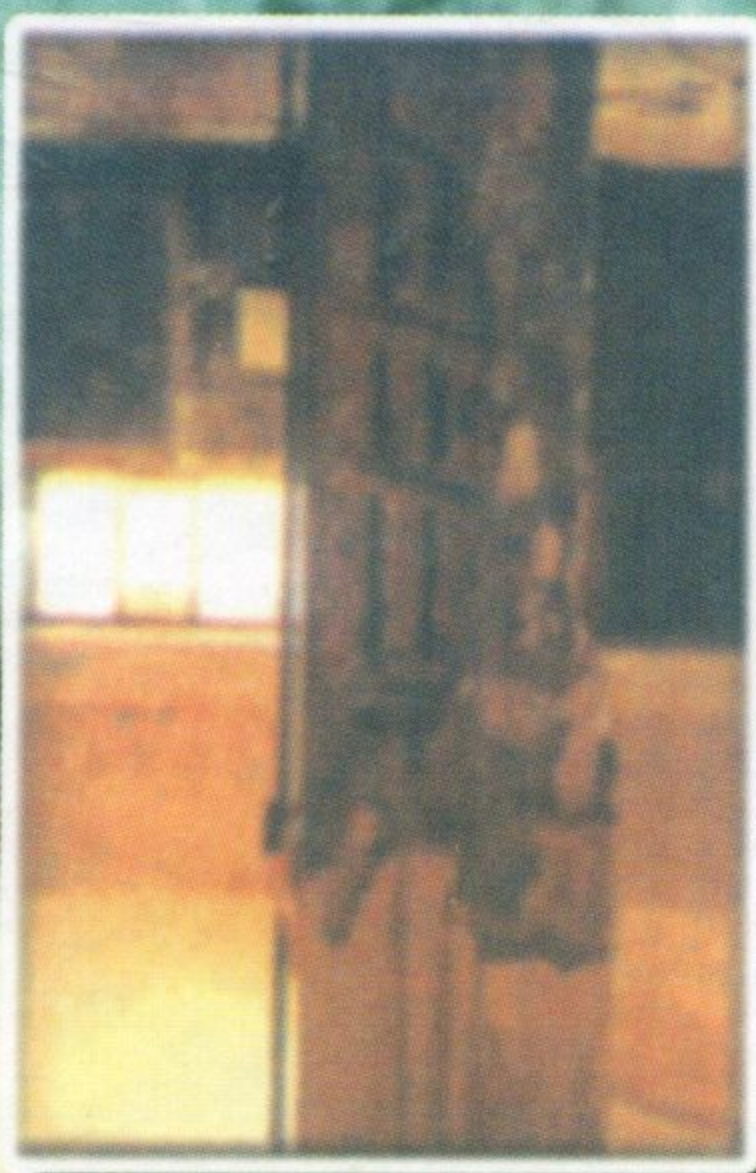
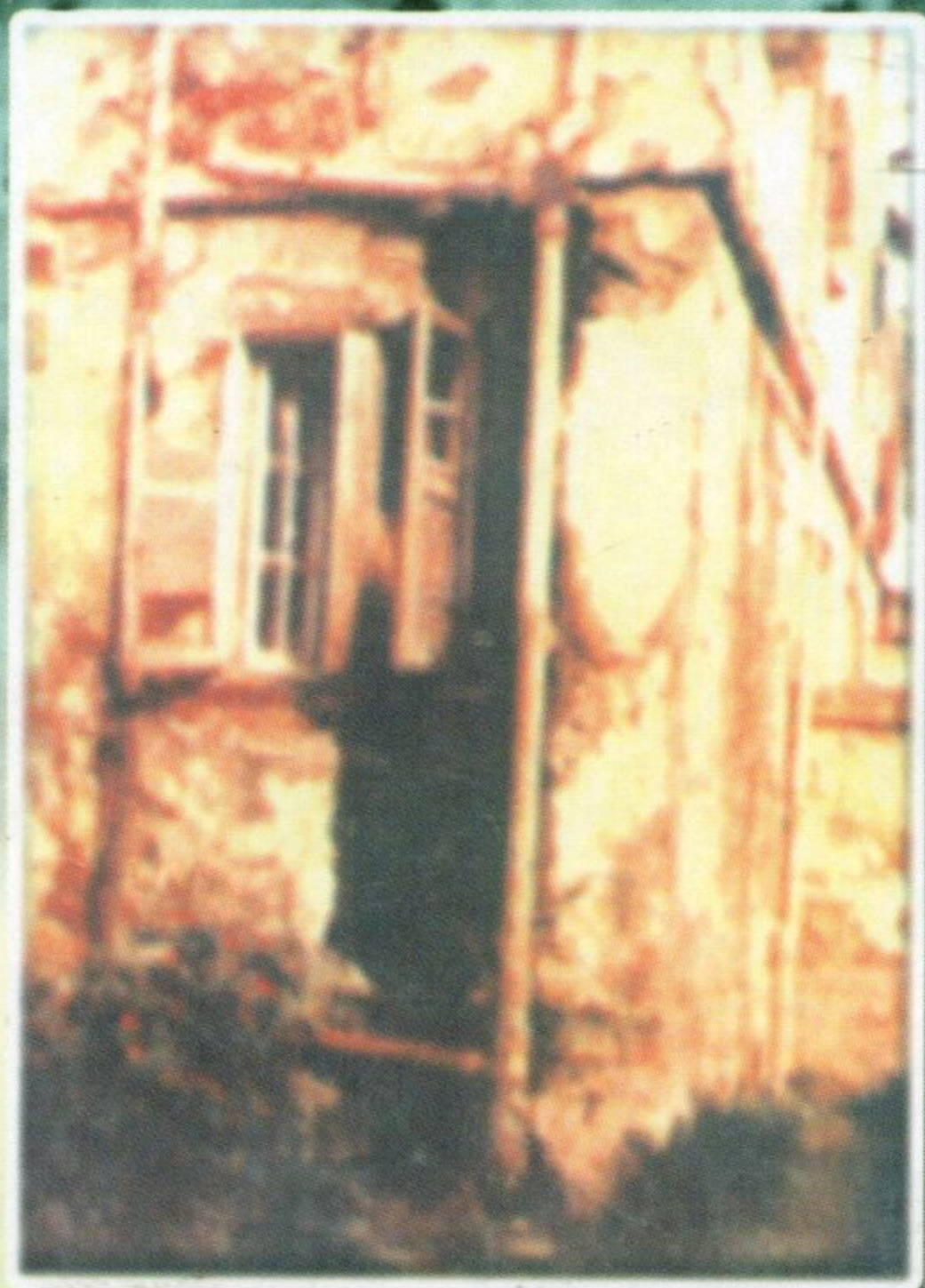


تصدع المنشآت الخرسانية وطرق إصلاحها

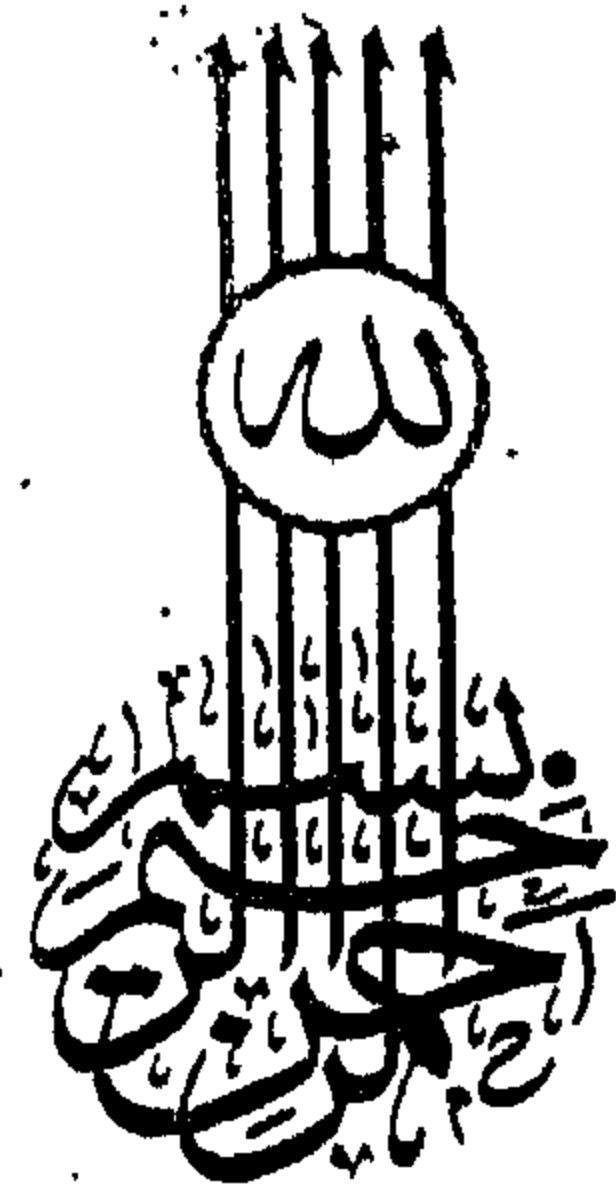


أ.د. منير كمال
أ.د. شادية الإبياري

أ.د. شريف أبو المجد
أ.د. عمرو سلامه

دار النشر للجامعات

تَصَعُّ الْمُنَاكِ الْفَرَسَانِيَّةِ
وَطُرُقُ إِصْلَاحِهَا



تَصَوُّعُ الْمُنَافِقِ الْخَرَسَانِيَّةِ وَطُرُقُ إِصْلَاحِهَا

١. د. شريف أبو المجد
٢. د. عمر وسلامه
٣. د. ميسر كمال
٤. د. شادية نجاة الإبياري

بطاقة فهرسة
فهرسة أثناء النشر إعداد الهيئة العامة لدار الكتب والوثائق القومية
إدارة الشؤون الفنية

أبو المجد، شريف
تصدع المنشآت الخرسانية وطرق إصلاحها/ شريف أبو المجد
[وآخ] . - ط ٣ . - القاهرة: دار النشر للجامعات، ٢٠٠٦ .
٧٢٠ ص، ٢٤ سم.
تدمك ٩ ١٨٨ ٣١٦ ٩٧٧
١- هندسة الإنشاءات.
٢- الأساسات الخرسانية - تصميم وتشيد
أ- العنوان

٦٢٤, ١٥

تاريخ الإصدار: ١٤٢٨ هـ - ٢٠٠٧ م

حقوق الطبع: محفوظة للناشر

رقم الإيداع: ٢٠٠٦/١٨٩٣٥

الترقيم الدولي: ISBN: 977-316-188-9

الكود: ٢/١٩٠

تحذير: لا يجوز نسخ أو استعمال أي جزء من هذا الكتاب
بأي شكل من الأشكال أو بأية وسيلة من الوسائل
(المعروفة منها حتى الآن أو ما يستجد مستقبلاً)
سواء بالتصوير أو بالتسجيل على أشرطة أو
أقراص أو حفظ المعلومات واسترجاعها دون إذن
كتابي من الناشر.

توزيع

مكتبة دار المعرفة

٤ شارع السرايات - أمام هندسة عين شمس ت: ٢٢٦٨٤٤٠٤٢

E-mail : dar_elmaarefa@yahoo.com



دار النشر للجامعات - مصر

ص ب (١٣٠) محمد فريد القاهرة ١١٥١٨

تليفون: ٦٢٤٧٩٧٦ - تليفاكس: ٦٤٤٠٠٩٤

E-mail: Darannshr@Link.net

مقدمة الكتاب

مما لاشك فيه أن مشكلة تصدع المنشآت الخرسانية بوطننا العربى قد أصبحت من المشاكل الملحة التى يجب أن تتكاتف الجهود للوصول إلى حلها ، ومن أهم أسباب هذه المشكلة عدم وجود الوعى الكافى لدى جمهور المهندسين بأسباب التصدع حتى يمكن تلافيها ، وبطرق العلاج حتى يمكن اتباعها .

وطريقة تناول المهندس أو الاستشارى الإنشائى لمشكلة تصدع المنشآت الخرسانية وكيفية إصلاحها يجب أن تماثل طريقة تناول الطبيب لمشكلة المرض وكيفية علاجه ، فالطريقتان تشملان : التنقيب عن الأسباب بالسؤال والفحص ثم التشخيص السليم بالتحليل والدراسة فوصف العلاج الناجع بالدواء أو الجراحة ، مع الحرص على الوقاية لمنع المرض من الحدوث أصلاً فالوقاية خير من العلاج .

ولكى يتناول المهندس مشكلة تصدع المنشآت هذا التناول فلا بد له من معرفة الأشكال المختلفة للتصدع « الأعراض » و « أسباب » حدوثها ، وقد أوردنا فى الباب الرابع أكثر من ثلاثين نوعاً من أنواع تصدع الأعضاء الخرسانية ، وفصلنا القول فى وصفها واستعراض أسباب حدوثها ، وبيننا « المرض » نفسه فى الباب الثانى حيث عرضنا عيوب المنشآت وأسباب انهيارها .

ولابد للمهندس كذلك من أن يتعرف على وسائل « تشخيص » الحالة من فحص وكشف عن العيوب وإجراء التجارب والتحليل اللازمة ثم عمل دراسة وتحليل للأعراض للوصول إلى التشخيص السليم وهو ما أوردنا له فى الباب الخامس ، وتضمن الباب الثالث طرق عمل الاختبارات و « التحاليل » المختلفة للأعضاء الخرسانية ، بعد توضيح طبيعة الخرسانة المسلحة كمادة إنشائية وخصائصها وبالذات تلك المرتبطة بالتصدع ، والخرسانة المسلحة هى « الجسم » الذى يصاب بالعلل والأمراض .

ولابد له أخيراً من التعرف على طرق « العلاج » المختلفة ومتى يستخدم كل منها وما هى الخطوات الدقيقة لإعداد العضو للإصلاح ثم لعمل الإصلاح فاختباره للتأكد من نجاحه ، وقد فصلنا القول فى طرق الإصلاح فى الباب الثامن بعد أن بينا خواص المواد

المستخدمة فى « مداواة » المنشآت المريضة وحمايتها وبيننا تركيباتها وطرق استخدامها
حسب الحالة فى الباب السادس .

ومن المفيد للمهندس التعرف على وسائل الإنشاء الحديثة والتصديعات المرتبطة بكل
منها ، وقد عرضنا فى الباب الأول المنشآت « السليمة » صحيا إذا أنشأت طبقا لأصول
الصناعة والتصديعات التى يمكن أن تحدث إذا لم تتبع هذه الأصول ، ويجب على المهندس
الاهتمام بوسائل « الوقاية » وحماية المنشآت من التصدع ، وقد تناول الباب السابع وسائل
منع حدوث التصدع ، وطرق صيانة وحماية المنشآت ، ليتسنى له حماية المنشأ من أن
يصاب بالعلل التى تقلل من « عمره » الافتراضى أو تمنع من أدائه لوظيفته الأداء الأمثل .

وقد قمنا بوضع هذا الكتاب باللغة العربية عوناً للمهندس العربى - وخاصة مهندسا
التنفيذ والإشراف عليه - على تفهم طبيعة مشكلة تصدع المنشآت الخرسانية وطرق
إصلاحها ، وعملاً بقول رسول الله ﷺ : « أفضل الناس المؤمن العالم الذى إذا احتيج إليه
نفع . . . » ، ودعوة لأساتذتنا ومتخصصينا للتأليف باللغة العربية لتوطين العلم فى ديارنا
حتى يعود لأمتنا سابق تفوقها العلمى .

والله نسأل أن ينفع بهذا الكتاب مهندسينا وأن يجعله فى ميزان حسناتنا إنه قريب
مجيب للدعاء .

الباب الأول

نظم إنشاء المباني الخرسانية

أ.م.د. شادية نجا الإيبارى

مقدمة :

إن انتشار تصدعات المباني الخرسانية فى الفترة الأخيرة ، مع انتشار استخدام نظم البناء الحديثة التى توفر الوقت والعمالة ، قد يوحى بوجود علاقة بينهما ، وفى بعض الحالات فإن ذلك صحيح . وأشهر مثال على ذلك : استعمال الأسمنت عالى الألومينا لتحقيق سرعة الإنشاء فى إعادة تعمير أوروبا بعد الحرب العالمية الثانية ، إذ ثبت بعد الانتهاء من الإنشاء بعشرين سنة أو أكثر أن استخدام هذا الأسمنت تسبب فى تصدع المباني الخرسانية .

ولكن تصدع المباني الخرسانية بوجه عام لا يرتبط بنظام الإنشاء المستخدم بقدر ما يرتبط بمستوى التصميم وتفصيله ، ومستوى التنفيذ والرقابة على الجودة وبالظروف البيئية المحيطة ، وهذه الظروف البيئية قد تكون تغيرت فى الفترة الأخيرة مع انتشار التلوث الناشئ عن عادم المصانع والمركبات ، وكثرة استخدام أملاح إذابة الجليد وغيرها من أسباب التلوث .

وسنقرض فى هذا الباب نظم الإنشاء التقليدية والحديثة المستخدمة فى منطقتنا العربية بإيجاز ، والتصدعات المرتبطة بكل منها ، وقد نجد فى بعض النظم الحديثة رقابة على الجودة أكثر من النظم التقليدية ، فمثلا فى نظام الوحدات الجاهزة توفر ظروف الإنتاج بالمصنع ظروفا مثالية للرقابة على جودة صناعة الخرسانة لا تتوفر فى الموقع فى حالة النظام التقليدى ، ولكن الوحدات الجاهزة تتعرض للتصدعات أثناء النقل والتركيب .

١ - النظم التقليدية

١ / ١ - نظام البلاطة والكمرة :

فى النظم التقليدية يتم عمل شدة خشبية - وأحيانا معدنية - للأعضاء الخرسانية ، ثم يرص فيها صلب التسليح ، ويتم خلط وصب الخرسانة بالموقع أو باستعمال الخرسانة الجاهزة .

١ / ١ / ١ - الوصف :

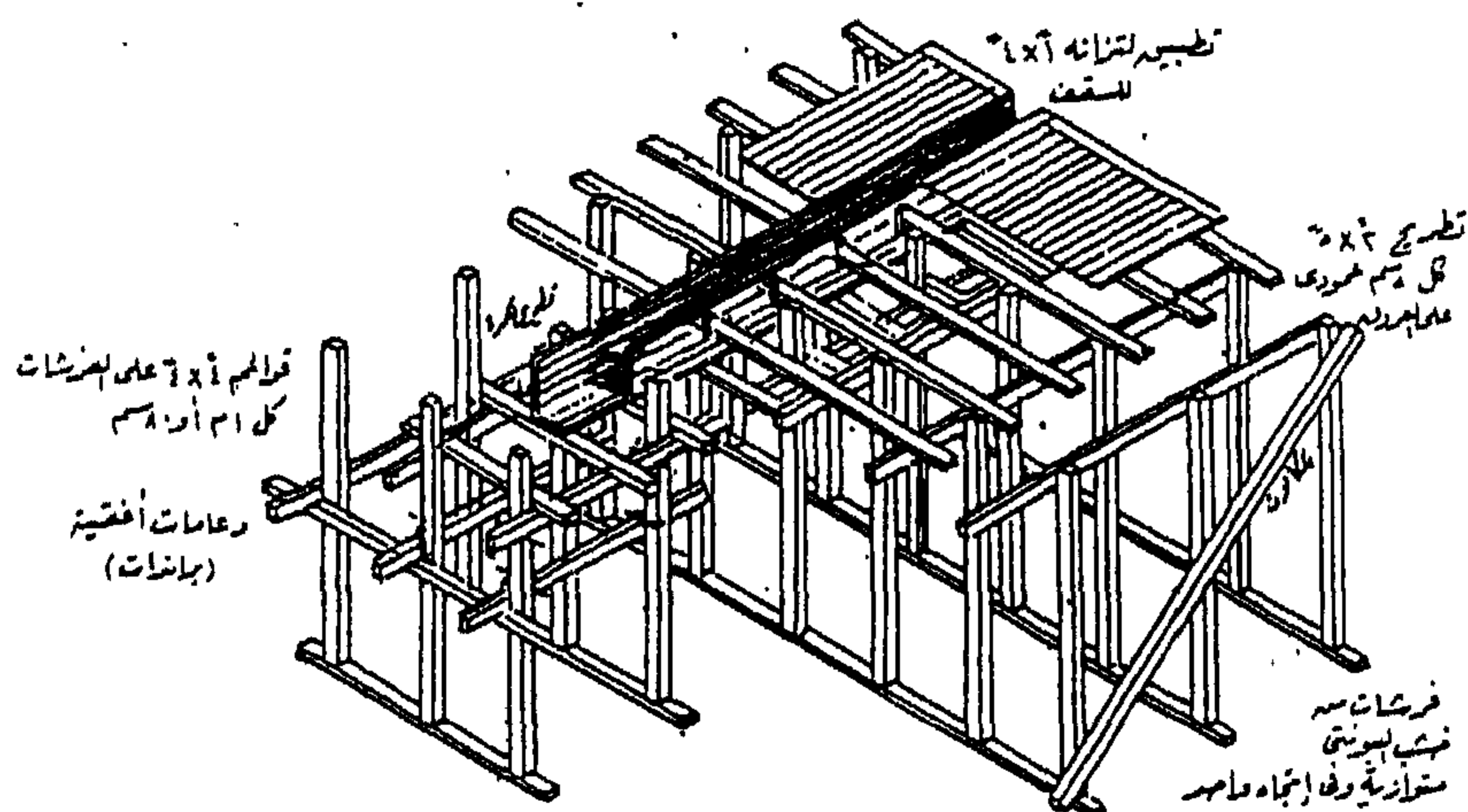
أ - الأعمدة :

الشدة تتكون من عروق خشبية ، تربط مع بعضها بواسطة دعامات - براندات - أفقية ومتعامدة مع بعضها ، تبدأ عند سطح الأرض ثم كل ٢ م ارتفاع ، وتثبت جميعها فى القوائم الرأسية - العروق - بقمط حديدية ، يعلو كل صف براندات حطات خشب موسكى ، ويترك فراغ بينها يساوى أبعاد العמוד مع إضافة ٥ سم لسبك التجليد ، وتجلد جوانب العמוד من ثلاث اتجاهات فقط بالواح خشب - لتزانة - ثم يرص صلب التسليح ، يلى ذلك تجليد الجانب الرابع للعמוד ، ثم يتم تقوية - تدعيم - جوانب العמוד بأحزمة خشبية - انظر شكل (١ / ١) - ويتم صب العמוד بعد رش الشدة من الداخل بالماء مع دمك الخرسانة جيداً أثناء الصب ، ولا يجب الصب من ارتفاع يزيد عن ٢ م حتى لا يحدث انفصال حبيبي .

ب - السقف :

بعد فك شدة الأعمدة يتم عمل شدة السقف ، وتتكون من فرشة خشبية من ألواح (البونتي) أسفل عروق رأسية ، توزع على مسافات من ٨ × ٨ م إلى ١ × ١ م ، يثبت فيها من أعلى عروق السقف - حسب منسوب السقف - وهى ألواح خشبية أفقية ، قطاعها ٥ × ٢ بوصة ، يوضع فوقها التطريخ ، وهى ألواح ٥ × ٢ بوصة أفقية ، يثبت فوقها ألواح لتزانة ٤ × ١ بوصة ، ويجب تدعيم جوانب الكمرات حتى لا تتحرك أثناء الصب ، ثم يرص صلب التسليح فى الكمرات والبلاطات حسب الرسومات ، ويرفع عن

الشدة الخشبية بمقدار الغطاء الخرساني ، يتم بعد ذلك صب الخرسانة وتسوية سطحها ، ثم تعالج خرسانة الأعمدة والسقف بأن تكون في حالة بلل دائم لمدة أسبوع على الأقل ، وبعد مرور الوقت المناسب يتم فك الشدة - شكل (١ / ١) .



شكل (١ / ١) شدات الأسقف التقليدية

١ / ١ / ٢ - المميزات والعيوب :

.. الاستخدام الأمثل لهذا النظام هو في المباني السكنية الخاصة غير المتكررة .

ومميزاته :

أ - لا يحتاج إلى عمالة فنية عالية التدريب ، حيث إن معظم العمال قد اكتسبوا الخبرة للعمل بهذا النظام .

ب - لا يحتاج إلى معدات مرتفعة الثمن .

وأما عيوبه فهي :

أ - يحتاج إلى وقت طويل لإنشاء الشدات وفكها ، مما يزيد الوقت اللازم لإنهاء المبنى .

ب - يحتاج إلى عمالة كثيرة .

ج - يتسبب في حدوث فاقد كبير في المواد وخاصة الخشب ومواد الخرسانة .

١ / ١ / ٣ - التصدعات المرتبطة به :

أ - حيث إن الشدة خشبية وتدعيمها وتقويتها يحتاج إلى خبرة وإشراف جيد ، فإن التصدعات الخاصة بحركة الشدة وهبوط الخرسانة اللدنة يمكن أن تحدث - انظر قسم (١ / ٣) من الباب الرابع .

ب - وحيث إن الخرسانة تخلط في الموقع ، فإن عدم وجود رقابة فعالة على الجودة ، يؤدي إلى خرسانة ضعيفة بها ماء كثير مما يؤدي إلى شروخ الانكماش وضعف مقاومة الخرسانة .

ج - وحيث إن صلب التسليح يرص في الأعضاء الخرسانية في الموقع ، ويحتاج إلى رفعه عن الشدة لتوفير الغطاء الخرساني وربطه لكيلا يتحرك ، واستعمال الكراسي حتى لا يسقط الحديد العلوي ، فإن سوء التنفيذ يؤدي إلى تصدعات نتيجة عدم وجود صلب التسليح في مكانه ، أو عدم كفاية الغطاء الخرساني .

د - وحيث إن نقل الخرسانة وصبها ودمكها يتم في الأدوار المختلفة ، فإن عدم استخدام الأساليب الصحيحة في النقل والصب والدمك تؤدي إلى تصدعات بسبب الانفصال الحبيبي ، أو التعشيش (Honeycombing) ، وخاصة في الأدوار العليا وأماكن الصب الضيقة .

هـ - وحيث إن المعالجة تتم في الأدوار المختلفة ، فإن شروخ الانكماش يمكن أن تظهر وخاصة في بلاطات الأدوار العليا ؛ لأن الخرسانة لا تكون مبللة بصفة دائمة وإنما تتعرض لدورات البلل والجفاف .

١ / ٢ - نظام الأسقف من البلاطات اللاكمرية :

١ / ٢ / ١ - الوصف :

يتم عمل الأسقف باستخدام شدات خشبية من ألواح الكونتر أو شدات معدنية ، ويمكن أن تكون القوائم الرأسية عروقاً خشبية أو أعمدة معدنية ، وفي حالة الشدة الخشبية يتم عمل عروق السقف والتطريح كما في الشدة التقليدية ، ثم يكون التطبيق بالأواح

الكونتر ، أما فى الشدة المعدنية فتستعمل طبالى على كمرات معدنية مرتكزة على الأعمدة - شكل (٢ / ١) .

وللإسراع بالعمل يمكن استخدام طاولات Table form بحجم الباكية - البلاطة بين الأعمدة - يتم رفعها عن طريق الأوناش العلوية ، بحيث تعمل هذه الطاولات كشدة متكاملة بها الأعمدة والكمرات وألواح التطبيق ، وبعد مرور مدة كافية على صب الخرسانة يتم خفض سطح الطاولة ورفعها إلى السقف الأعلى .

وبسبب الاستغناء عن الكمرات يجب استخدام بلاطة ذات سمك مناسب مع عمل تركيز لصلب التسليح فى شرائح الأعمدة إذا كان توزيع الأعمدة منتظماً ، أو استعمال أسياخ تسليح موزعة توزيعاً منتظماً فى حالة الأعمدة غير المنتظمة فى صفوف - شكل (٢ / ١) .

١ / ٢ / ٢ - المميزات والعيوب :

الاستخدام الأمثل لهذا النظام يكون فى حالات المصانع التى تحتاج إلى ارتفاع نظيف بدون سقوط كمرات ، وفى الصالات الكبيرة التى تحتاج معمارياً إلى عدم وجود سقوط فى البلاطة ، وفى المباني السكنية التى يكثر فيها تغيير أماكن القواطع والحوائط الطوب .

ومميزاته :

أ - تخفيض وقت عمل الشدة .

ب - تخفيض العمالة وخاصة فى النجارة والحدادة .

ج - يعطى مرونة معمارية داخلية وأقصى ارتفاع فى حالات المصانع والمخازن .

وأما عيوبه فمنها :

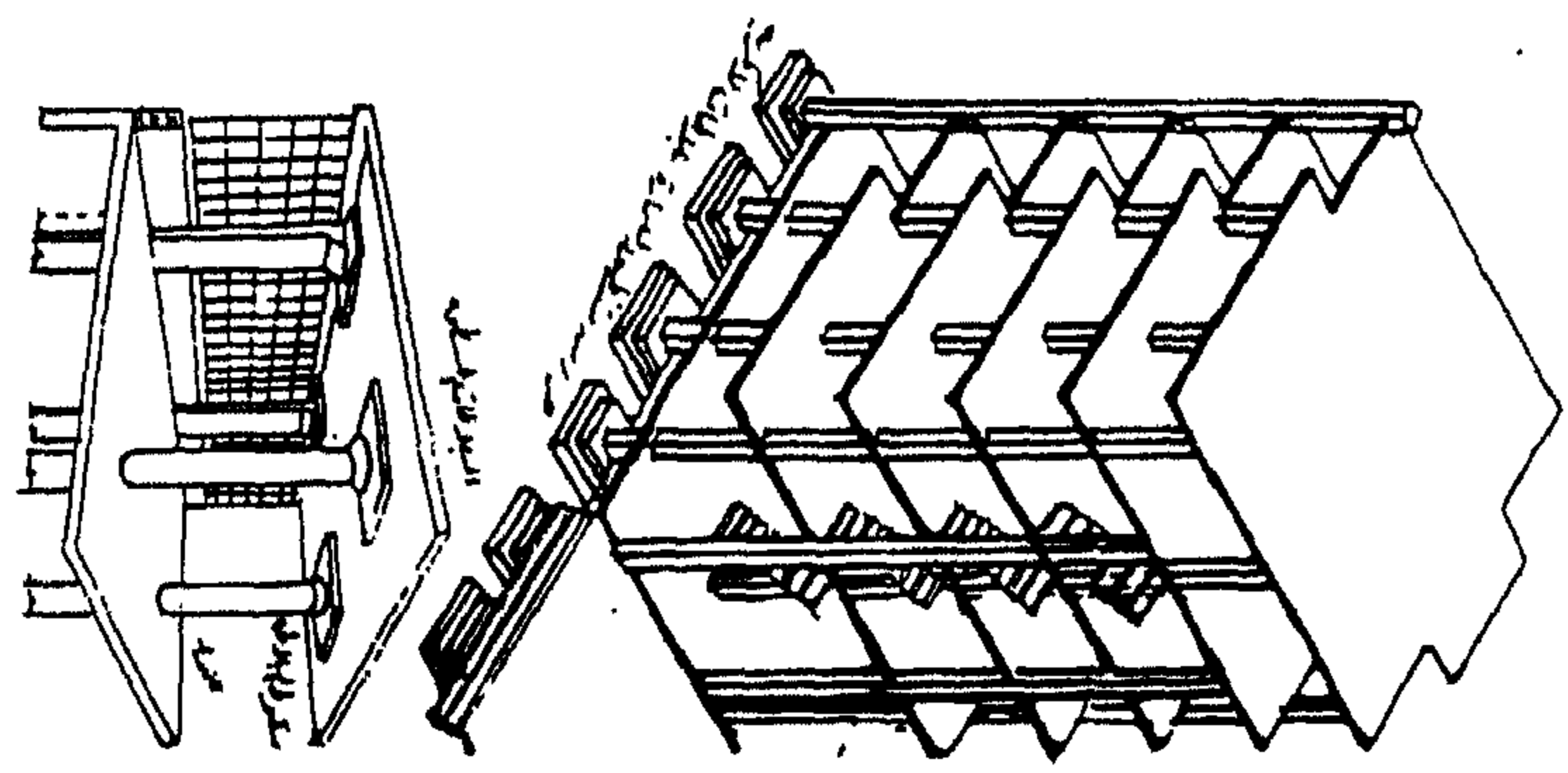
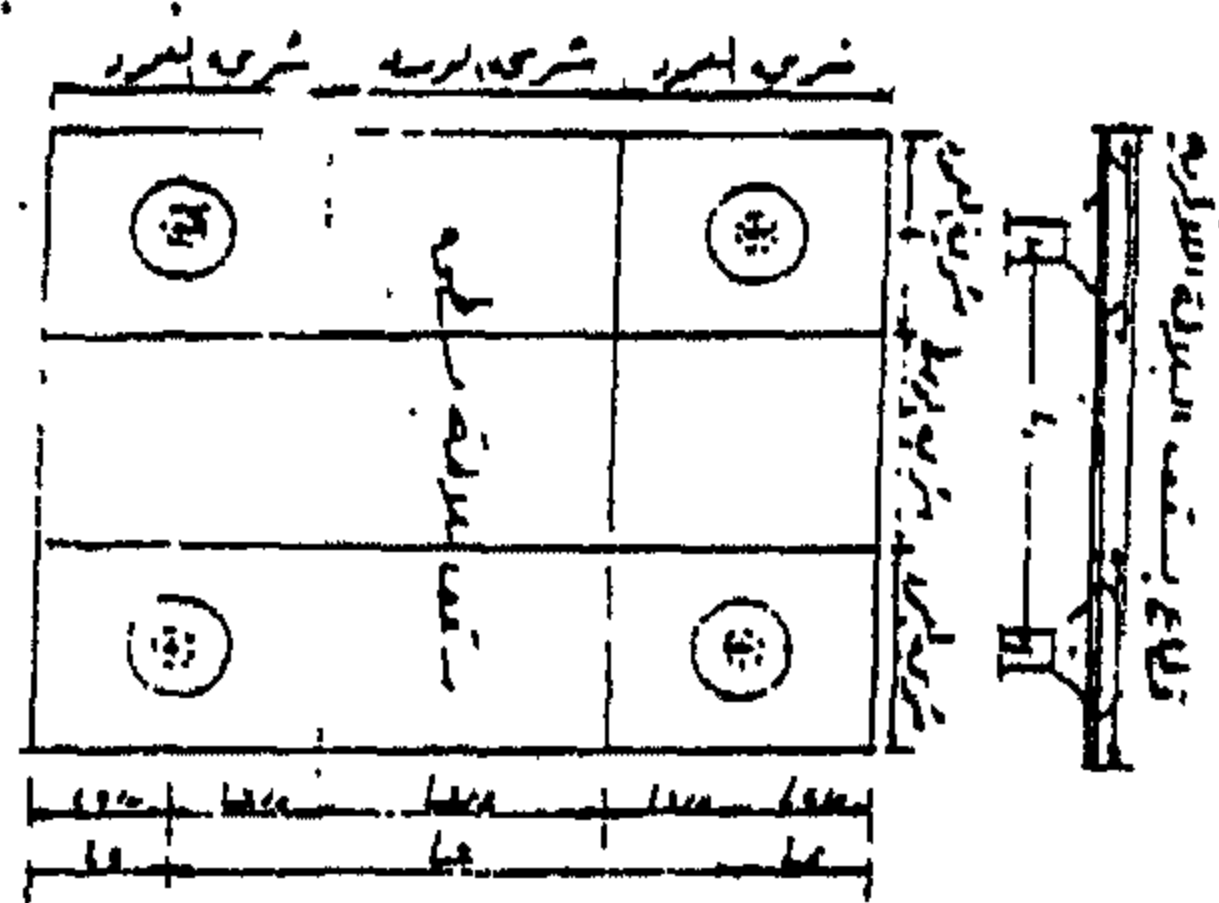
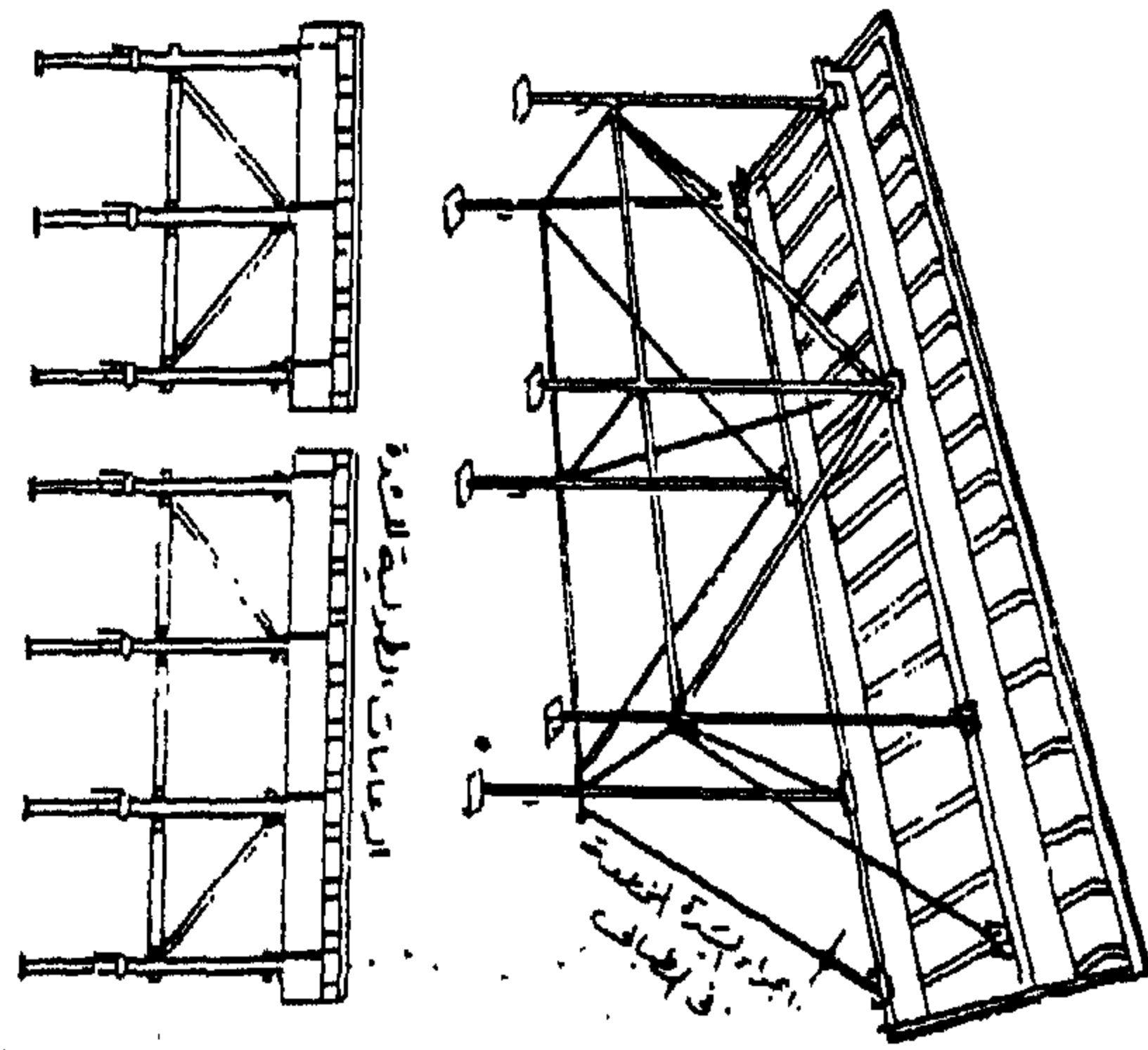
أ - أثقل وزناً على الأساسات من نظام البلاطة والكمرة .

ب - ارتفاع نسبة الحديد فى الخرسانة عن نظام البلاطة والكمرة مما يجعله أكثر تكلفة .

١ / ٢ / ٣ - التصدعات المرتبطة به :

عند استخدام الشدات المعدنية أو الشدات الخشبية غير المنفذة للماء ، فإن هناك احتمال حدوث الشروخ السرطانية (crazing) - راجع قسم (٣ / ١ / ٢) من الباب

الرابع - كما أن سرعة فك الشدة - وخاصة عند استخدام الطااولات - يمكن أن تسبب شروخ التحميل الزائد ، ولكن تقل مع هذا النظام احتمالات حدوث تعشيش في الكمرات التي تحدث مع نظام البلاطة والكمرة .



شكل (٧ / ١) نظام البلاطات اللاكمرية

١ / ٣ - نظام الأسقف من البلاطات الخرسانية ذات الأعصاب (Waffle slab) :

١ / ٣ / ١ - الوصف :

تستخدم لتغطية المسطحات الواسعة والبحور الكبيرة بإنشاء بلاطات خرسانية مفرغة (cell - form) ذات قباب سفلية فارغة وأعصاب - كمرات رفيعة - متقاطعة تعطى تقسيماً منتظماً ذا شكل معمارى مميز - شكل (١ / ٣) - وتستخدم هذه الفراغات فى احتواء وحدات الإضاءة والتكييف .

ويتم عمل شدة السقف بالطريقة التقليدية ، ثم يوضع فوق ألواح التطبيق قوالب من البلاستيك تمتاز بخفة الوزن والصلابة الكافية بمقاسات ٨٠ × ٨٠ سم أو ٩٠ × ٩٠ سم ، وبعمق يتراوح بين ٤٠ - ٩٠ سم ، وتحمل شفتيها إما على مرايين خشبية ٣ × ٤ بوصة فى النظام التقليدى ، أو على كمرات رئيسية و ثانوية محملة على دعائم رأسية ذات رؤوس ساقطة ، تفك بسرعة بإنزالها إلى أسفل ، ثم تسحب القوالب والكمرات وتظل الدعائم الرأسية فى مكانها لصلب السقف .

ويكون التسليح الرئيسى فى الأعصاب ، أما البلاطة الخرسانية فوق القوالب فتسلح تسليحاً خفيفاً لمنع حدوث شروخ انكماش ، ولا يسمح بامتداد القوالب فوق الركائز ، وإنما تكون هذه الأجزاء مصمتة (Solid parts) لمقاومة قوى القص والعزوم السالبة ، وتكون الخرسانة الناتجة ظاهرة (Fair face) لا تحتاج لبياض - شكل (١ / ٣) .

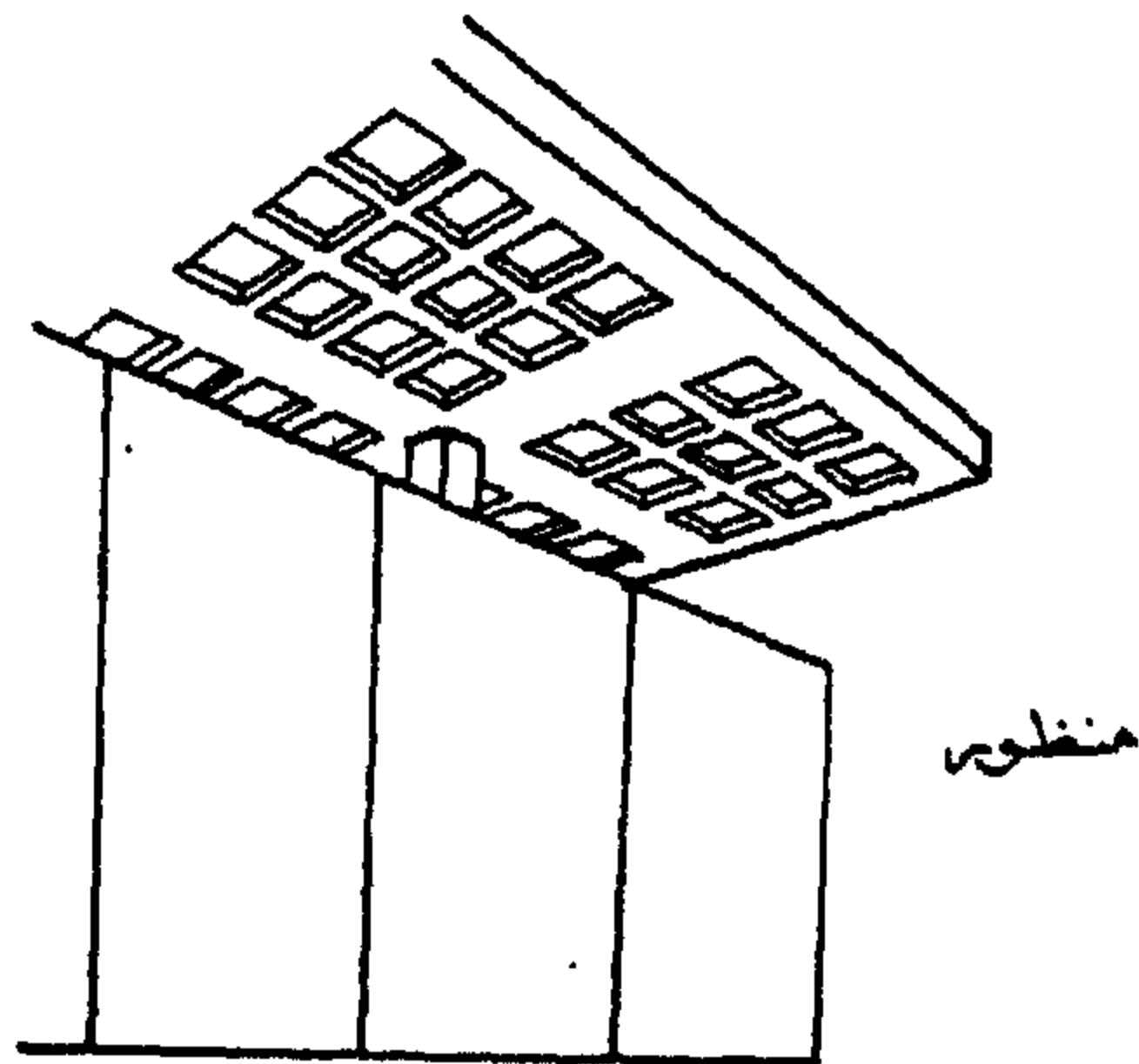
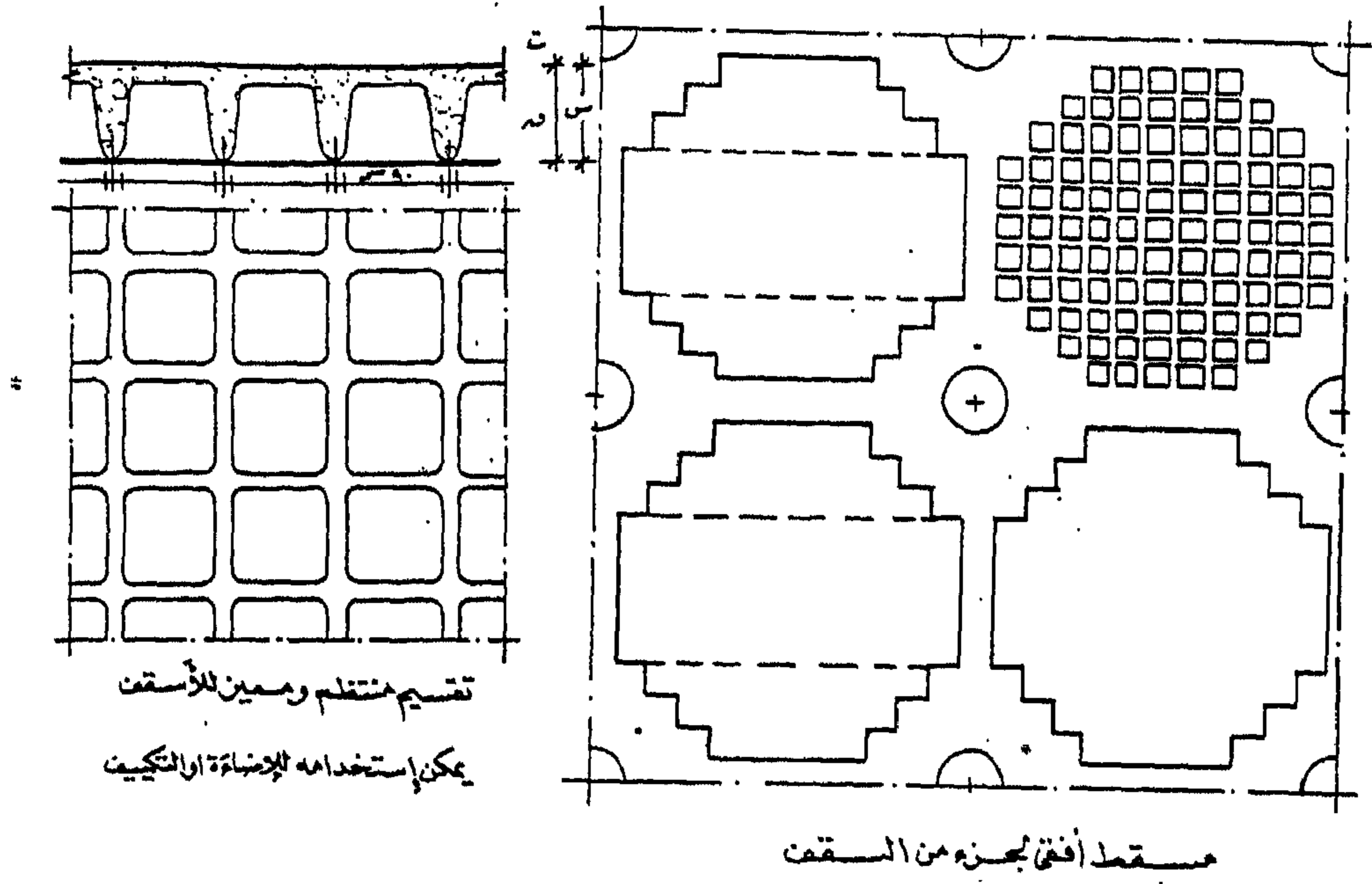
١ / ٣ / ٢ - المميزات والعيوب :

الاستخدام الأمثل لهذا النظام يكون فى البحور الكبيرة - حتى ١٠ م - والصالات والجراجات .

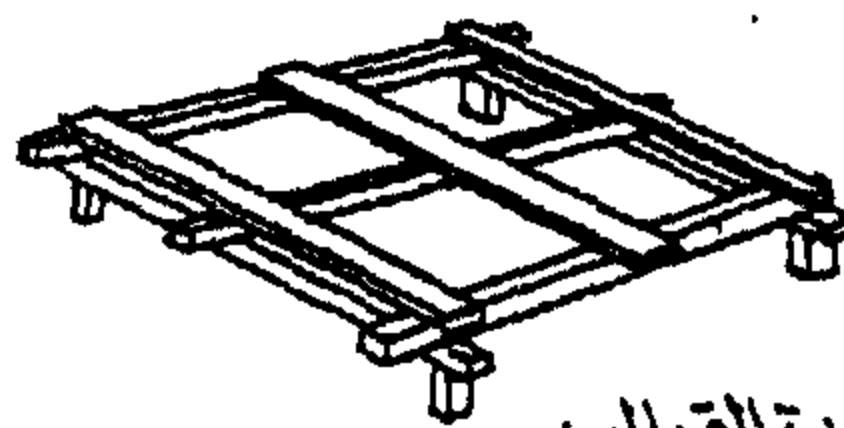
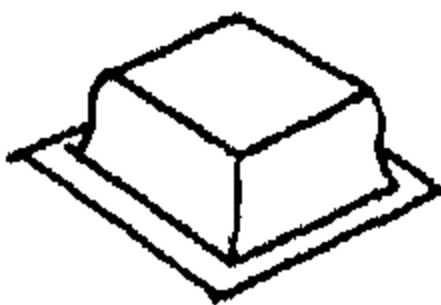
ومميزاته :

أ - الحصول على مسطحات كبيرة بدون أعمدة ، مع تخفيض وزن السقف وكمية صلب التسليح .

ب - الحصول على تقسيم شبكى منتظم ومميز ، مع استخدام الفراغات فى تركيبات الكهرباء والتكييف والصوت .



قوالب (قياض) شدة
الاسقف من البلاستيك



الإطارات اللازمة لشدة القوالب

شكل (٣ / ١) نظام البلاطات ذات الأعصاب

وأما عيوبه فهي :

أ - صعوبة معالجة أى تلفيات بالسقف نتيجة فك القوالب .

ب - ضرورة التكرارية للاستفادة بالقوالب .

١ / ٣ / ٣ - التصدعات المرتبطة به :

تحدث شروخ الهبوط اللدن فى البلاطة عند جوانب الأعصاب نتيجة التغير الكبير فى العمق بين البلاطات الرفيعة والأعصاب العميقة - انظر شكل (٤ / ٤ / ٥)
بالباب الرابع - كما أن قلة سمك البلاطات فوق القوالب يجعلها أكثر عرضة لشروخ الانكماش .

٢ - النظم الحديثة للخرسانة المصبوبة بالموقع

٢ / ١ - الإنشاء بنظام الشدات النفقية Tunnel form :

٢ / ١ / ١ - الوصف :

الفكرة الأساسية لهذا النظام هي استخدام شدات متحركة من المعدن - أنفاق - لصب الحوائط والأسقف كقطعة واحدة متكاملة ، والهدف منه هو سرعة دورة التنفيذ للهيكل الخرساني والحوائط بحيث يمكن إنجاز وحدة كاملة من الهيكل (شقة سكنية مثلاً) خلال فترة قصيرة (٢٤ - ٤٨ ساعة) يتم بعدها فك الشدة ونقلها للعمل في شقة أخرى .

وتتكون الشدة من عدة شرائح (Shells) ثابتة الأبعاد من الصاج المقوى بأعصاب الحديد ، والتي يجرى تجميعها مع بعضها البعض بواسطة كلبسات خاصة ، ويمكن أن تكون الشدات على شكل نفق كامل (Full tunnel) ، وهي عبارة عن صندوق مستطيل ذي ثلاثة جوانب - السقف والحوائط - على شكل حرف (U) مقلوب ، أو شدة نصف نفقية (Half tunnel) على شكل حرفي (L) متقابلان - شكل (١ / ٤) - وتتحرك هذه الشدات على عجلات تأخذ مكانها لكمرات تسمى دليل النفق (Kickers) وتنقل من دور إلى الدور الأعلى بواسطة أوناش برجية - شكل (١ / ٤) .

٢ / ١ / ٢ - المميزات والعيوب :

الاستخدام الأمثل لهذا النظام هو في المباني النمطية والعمارات السكنية ذات الوحدات المتكررة والبحور الثابتة .

ومميزاته :

- أ - معدل سريع للإنشاء ، وسرعة في التشطيب ، مع توفير في العمالة .
- ب - توفير بعض بنود التشطيبات (الطوب ، البياض ، البلاط) .
- ج - دمج بعض بنود التشطيبات مع عملية إنشاء الهيكل - الأعمال الكهربائية .
- د - صغر قطاع الحوائط لأنها تستخدم إنشائياً كحوائط قص (Shear walls) .

وأما عيوبه فهي :

أ - لا يوفر مرونة في التصميم المعماري ، ولا يسمح بتخفيض أرضية الحمامات لصرفها .

ب - يحتاج إلى دقة عالية ونظام متكامل لضبط ورقابة الجودة ، مع وجود فنيين مدربين وعلى كفاءة .

ج - الحوائط الخرسانية الخارجية لا تتلاءم مع الأجواء الحارة .

٢ / ١ / ٣ - التصدعات المرتبطة به :

هناك ثلاثة أنواع من الشروخ قد تظهر في هذه النوعية من المنشآت الخرسانية - راجع الباب الرابع - :

أ - شروخ الانكماش عند الجفاف : وذلك لوجود قيد على الحركة لاتصال البلاطات بالحوائط .

ب - شروخ التمدد والانكماش الحراري : نتيجة تأثير اختلاف درجة الحرارة الخارجية والداخلية على الحوائط .

ج - الشروخ السرطانية في المناطق الباردة : نتيجة استخدام شدات غير منفذة للماء .

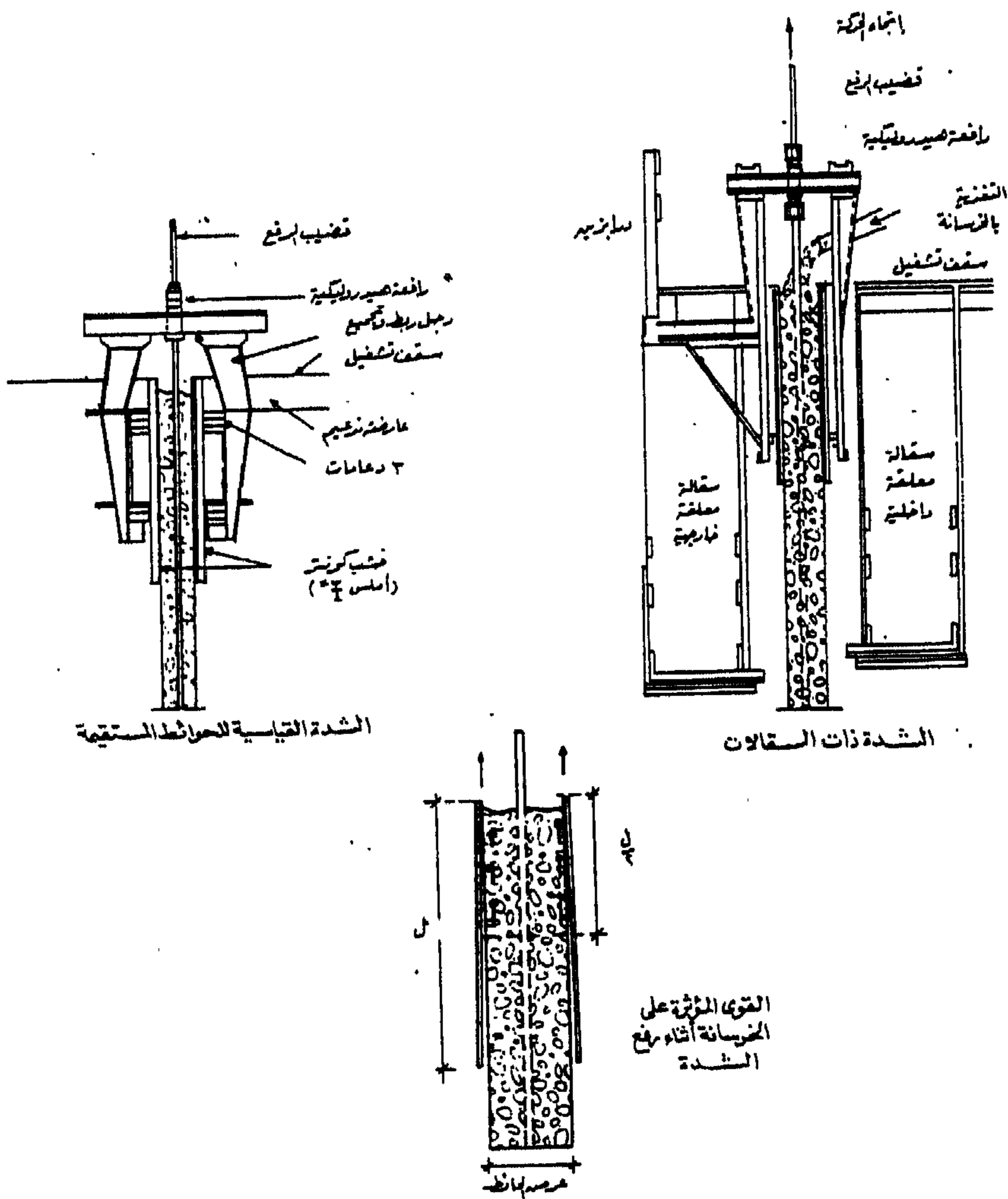
٢ / ٢ - الإنشاء بطريقة الشدات المنزلقة رأسياً Slip forms :

٢ / ٢ / ١ - الوصف :

فكرة هذا النظام تقوم على إنشاء الحوائط بكامل ارتفاع المبنى باستمرار ، ودون توقف عن طريق استمرارية صب الخرسانة داخل شدات معدنية أو خشبية بالشكل المطلوب ، تتحرك إلى أعلى بمعدل محسوب ، فيتم عمل جانبين لشدات الحوائط بالسلك المطلوب وبارتفاع مناسب ، مع رفع هذه الشدات بروافع هيدروليكية تنزلق على محاور رأسية وتعمل على تحريك الشدة لأعلى بشكل مستمر - شكل (١ / ٥) .

ويتم العمل بضغط الخرسانة داخل الشدات بصفة مستمرة حتى تصب الحوائط بكامل الارتفاع ، مع استمرار رفع الشدات لأعلى وبمعدل ثابت يتراوح بين ١٥ - ٣٠ سم / ساعة ، ويتحدد هذا المعدل حسب سرعة شك الخرسانة بناء على نوع الأسمنت ، وكمية الإضافات

استخدمة فيها ، والجو الخارجى ، وبالنسبة لصلب التسليح فيجرى وضعه أثناء الصب أولاً بأول .
وعند استعمال هذا النظام فى المباني العالية فإنه يجرى استكمال باقى العناصر الإنشائية الأخرى مثل : البلاطات باستعمال أى طريقة أخرى مثل الطريقة التقليدية ، أو البلاطات سابقة الصب ، أو البلاطات المرفوعة ، حيث توضع أساور لربط البلاطات بالحوائط رأسياً داخل الحوائط - حتى لا تعوق حركة الشدة - ثم يتم ثنيها بعد الصب - شكل (٥ / ١) :



شكل (٥ / ١) نظام الشدة المنزقة

٢ / ٢ / ٢ - المميزات والعيوب :

الاستخدام الأمثل لهذا النظام فى المنشآت المرتفعة ذات القطاع الثابت مثل : المداخل العالية والصوامع وخزانات المياه ، ويستخدم كذلك فى عمل قلب المبنى المرتفعة - بئر المصاعد والسلالم - المنوط به مقاومة الرياح ، وقد يستخدم فى عمل الحوائط الداخلية والخارجية للمبنى العالية .

وأهم مميزاته :

- أ - معدل إنشاء سريع يصل إلى دور سكنى كل يوم .
- ب - مبنى لها مقاومة عالية لأحمال الرياح والزلازل .

وأما عيوبه فهي :

- أ - يحتاج إلى درجة عالية من كفاءة العاملين وخاصة عمال رفع الشدة .
- ب - يتطلب درجة عالية من التخطيط لضرورة توافر المواد وبدائل المعدات باستمرار حتى لا يتوقف الصب .
- ج - ارتباط معدل الصب وانزلاق الشدة بمقدار الشك الابتدائى للخرسانة مما يجعله متأثراً بالجو الخارجى .

٣ / ٢ / ٢ - التصدعات المرتبطة به :

- هناك عدة أنواع من الشروخ قد تظهر فى هذا النظام - راجع الباب الرابع - :
- أ - شروخ الهبوط اللدن : فى الأجزاء النحيفة من الحوائط ، أو عند أسياخ التسليح .
 - ب - شروخ الانكماش : نتيجة استعمال معجلات الشك ، أو بسبب القيد الأفقى على حركة الحوائط المتصلة .
 - ج - شروخ التمدد والانكماش الحرارى : فى حالة عمل الحوائط الخارجية الخرسانة المسلحة .

٣ / ٢ - نظام البلاطات المرفوعة Lift slab :

٢ / ٣ / ١ - الوصف :

تتلخص فكرة هذا النظام فى صب الأجزاء الإنشائية من أعمدة وبلاطات على

مستوى الدور الأرضى ، وذلك بالإضافة إلى تركيب جميع التركيبات الكهربائية والميكانيكية على مستوى الدور الأرضى كذلك ، بعد ذلك يتم تركيب العناصر الإنشائية فى مكانها ، فيتم أولا تثبيت الأعمدة سابقة الصب فى مكانها ثم ترفع البلاطات إلى أماكنها.

ويتم العمل بصب الأساسات وتجهيز الأعمدة سابقة الصب فى مكان مجاور ، ثم تركيب أول وصلة للأعمدة فى الأساسات - شكل (٦ / ١) - وتصب بلاطات الأدوار المختلفة على مستوى الدور الأرضى فى مكانها مع ترك فتحات حول الأعمدة حيث يتم وضع التسليح والكهرباء والأطواق الحديدية المدفونة بالبلاطة - عند فتحات الأعمدة - ثم تصب بلاطة أول سقف ثم توضع مادة فاصلة بين الأسقف ، ويكرر العمل لكل الأسقف ، حتى يتم صب السقف الأخير ، بعد وصول خرسانة بلاطة السقف الأخير إلى الإجهاد المطلوب ترفع البلاطات عن طريق سحبها لأعلى باستخدام روافع هيدروليكية تثبت فوق أول وصلة للأعمدة ، وعن طريق قضبان الرفع المثبتة فى الأطواق الحديدية المدفونة فى البلاطة - شكل (٦ / ١) - تنقل الروافع إلى الوصلة الأعلى فى الأعمدة بعد تثبيت البلاطات الموجودة فى مسافة الوصلة الأولى فى منسوبها النهائى باستخدام الأطواق الحديدية ؛ لمنع التحدب العرضى للأعمدة buckling ، ثم يستمر الرفع - كما فى شكل (٦ / ١) .

وقد حدث تطور فى هذا النظام بحيث يمكن رفع طوابق بأكملها ، بحوائطها وشبايكها.

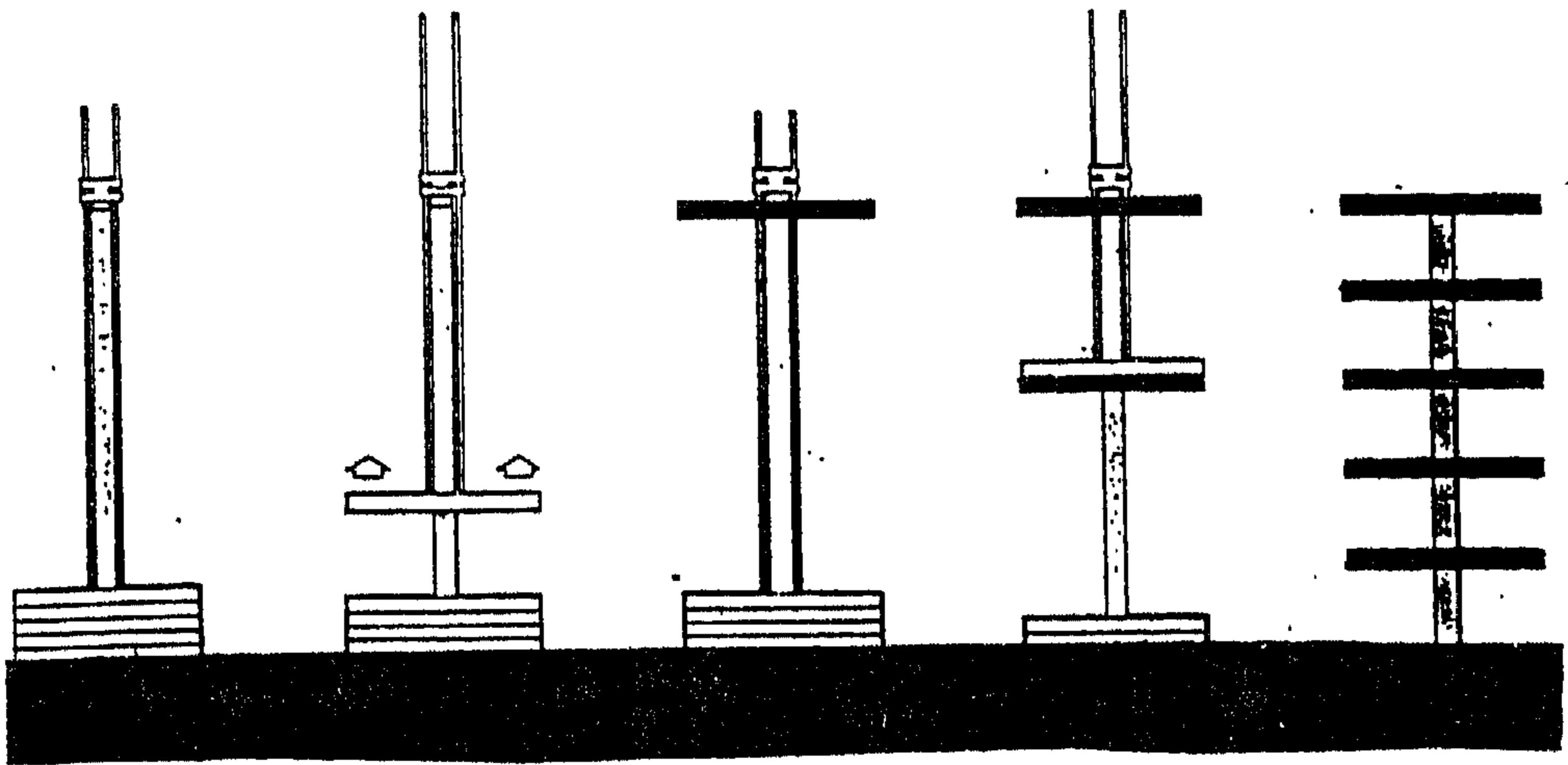
٢ / ٣ / ٢ - المميزات والعيوب :

الاستخدام الأمثل لهذا النظام فى حالة الجراجات متعددة الطوابق ، وخزانات المياه العالية ، والمباني السكنية ذات ارتفاع بين ٥ - ٨ أدوار ، وذات بحور منتظمة .

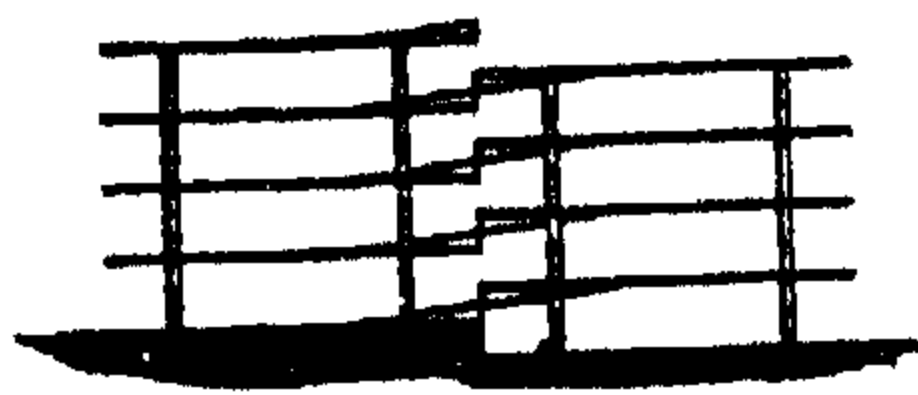
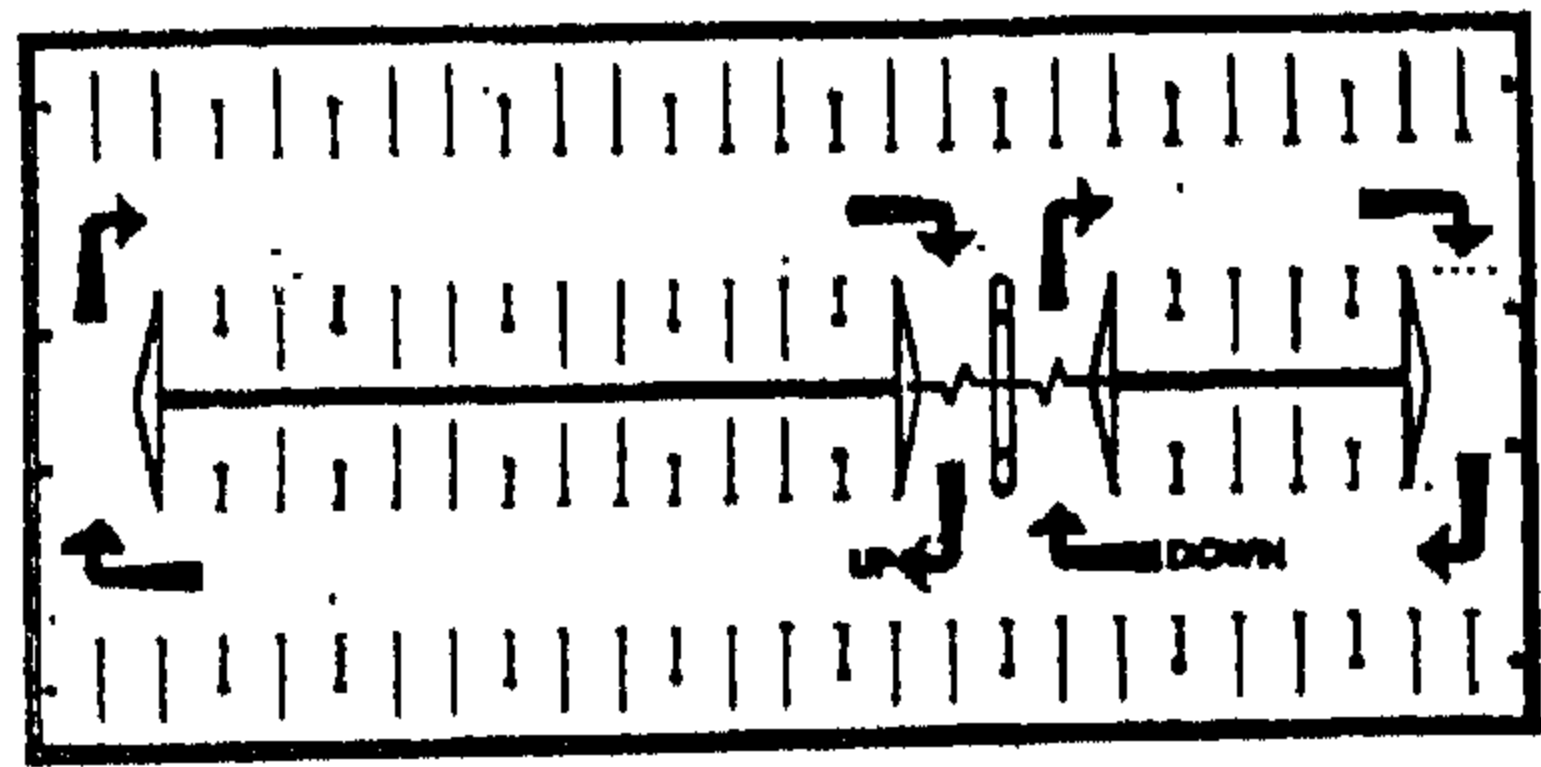
ومميزاته :

أ - سرعة تنفيذ الهيكل الخرسانى ، وضبط جودة البلاطات .

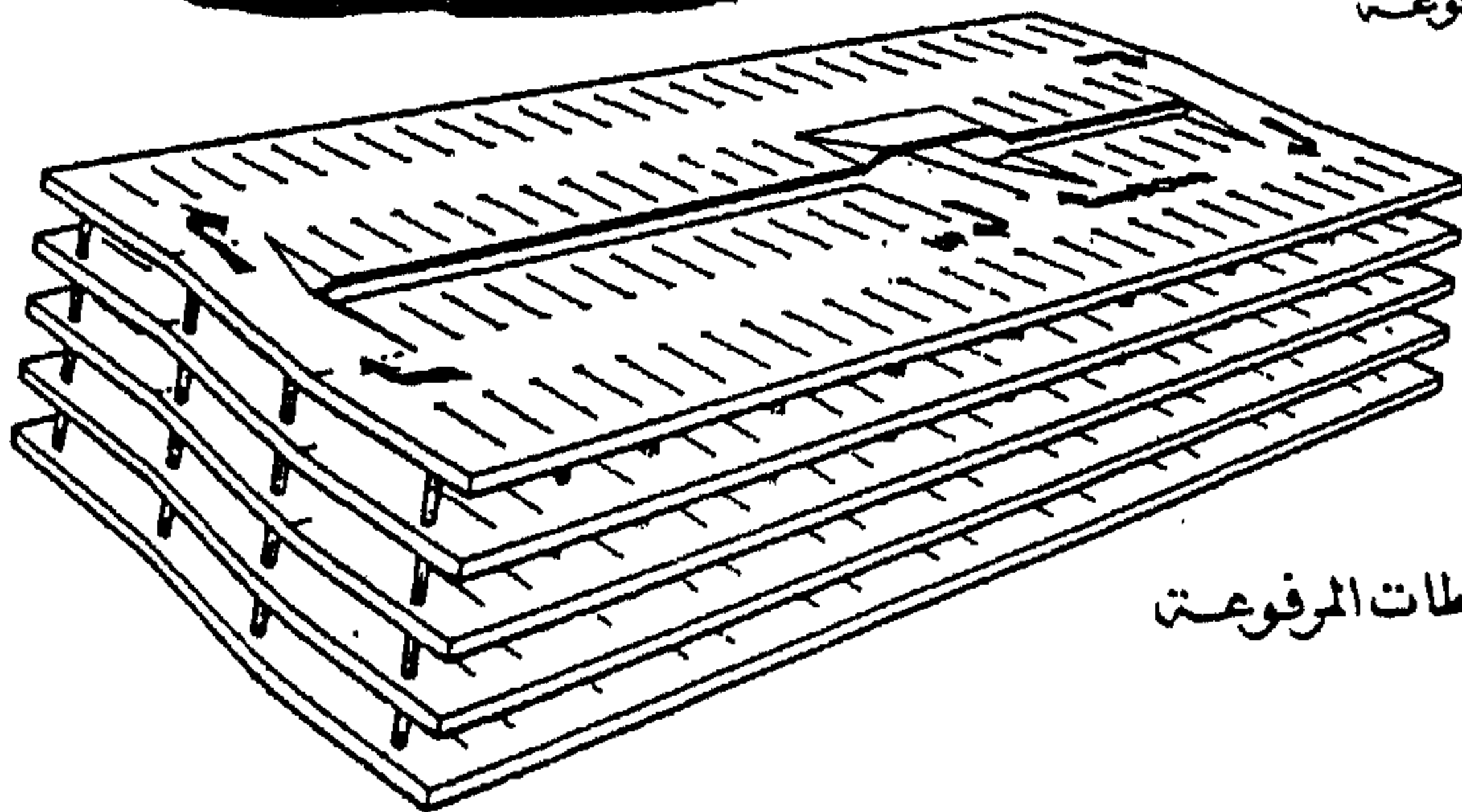
ب - لا يحتاج إلى أوناش برجية .



خطوات رفع بلاطات مبنى مكون من خمسة طوابق



جساج بنظام البلاطات المرفوعة



شكل (٦/١) نظام البلاطات المرفوعة

شكل (٦ / ١) نظام البلاطات المرفوعة

وأما عيوبه فهي :

أ - أنه يحتاج إلى دقة عالية ومراقبة مستمرة لعمليات التنفيذ .

ب - عدم المرونة المعمارية ، حيث يلزم وجود بحور منتظمة وعمل بروز للبلاطة خارج الأعمدة .

٢ / ٣ / ٣ - التصدعات المرتبطة بهذا النظام :

رغم إمكانية التحكم في الكثير من عمليات التنفيذ التي تجرى معظمها في الدور الأرضي مما يقلل من شروخ البلاطات ، إلا أن بعض المشاكل قد تحدث أثناء رفع البلاطات إذا لم يكن مستواها أفقياً تماماً ، أو كانت الفتحات حول الأعمدة غير منتظمة مما يسبب تصدعات بالبلاطات ، واتصال البلاطات بالأعمدة عن طريق الأطواق الحديدية المدفونة يجعلها نقاط ضعف معرضة للصدا .

٢ / ٤ - الإنشاء بنظام الأعصاب والبلوكات المفرغة (طريقة كاتزنبرجر) :

٢ / ٤ / ١ - الوصف :

وهي طريقة مركبة لإنشاء الأسقف ، تتكون من أعصاب مصبوبة جزئياً وطوب أسمتي مفرغ وخرسانة الاستكمال التي تصب على السقف . تصنع الأعصاب بالمصنع أو الموقع بحيث يكون بها صلب التسليح الرئيسي للشد - سيخان - وتسليح قطري للقص - مثلث الشكل - وتسليح علوي - سيخ واحد - وتصب جزئياً بسبك ٤,٥ سم - شكل (٧ / ١) .

بعد وصول خرسانة الأعصاب إلى القوة المطلوبة ترفع بواسطة عاملين ، وتوضع على كمرات أو حوائط حاملة بركوب ١٠ سم على مسافات كل ٦٠ - ٨٠ سم ؛ ولا تحتاج إلى شدات أسفلها عدا الدعامات أسفل الأعصاب .

البلوكات الخرسانية تصنع من ركام خفيف ، وتكون مفرغة ولها شفتان - كما في الشكل (٧ / ١) - وتوضع البلوكات بين الأعصاب حيث تتركز شفة البلوك على شفة العصب ، ثم تستكمل شبكة التسليح العلوية وتثبت مواسير الكهرباء وخلافه ، وتصب الخرسانة لاستكمال الأعصاب والجزء المصنعت العلوي من البلاطة ، مع استخدام إضافات تحسين الخواص .

٢ / ٤ / ٢ - المميزات والعيوب :

ومميزاته :

- أ - الاستغناء عن الشدات الخشبية مع إمكانية الإسراع فى معدلات التنفيذ .
- ب - التقليل من العمالة الفنية - وخاصة النجارين والحدادين .
- ج - عزل أفضل للحرارة والصوت .

وأما عيوبه فهي :

- أ - لا تناسب البحور الكبيرة .
- ب - حسن أداء السقف لوظيفته يعتمد على جودة البلوكات وخاصة الشفة .

٢ / ٤ / ٣ - التصدعات المرتبطة به :

- أ - فرق التمدد بين الخرسانة والبلوكات الأسمنتية قد يحدث شروخاً شعيرية بالسقف .
- ب - رقة سمك الجزء المصمت من السقف - فوق البلوكات - يعرضه لشروخ الانكماش .
- ج - قد يحدث تصدع للجزء المصبوب من العصب أثناء النقل والتركيب .
- د - يتكون سطح انفصال أفقى فى الأعصاب إذا لم يكن نظيفاً تماماً ورطباً أثناء صب الجزء التكميلى .

٣ - نظم المباني الجاهزة

٣ / ١ - الأعمدة والحوائط والبلاطات الجاهزة :

وفى هذا النظام يتم صب الأعمدة والكمرات - أو الحوائط - والبلاطات فى المصنع ثم تنقل إلى موقع العمل لتركيبها وصب الوصلات .

٣ / ١ / ١ - الوصف :

أ - الأعمدة :

تنفذ الأعمدة فى فرم كبيرة بها أجناب فاصلة بين كل عامود وآخر ، يوضع فيها التسليح وأسياخ خاصة للرفع ومواسير الكهرباء والعلب الخاصة بتشكيل الفراغ اللازم لمرور تسليح الكمرات خلال الأعمدة ، ويتم الصب بعد ذلك على مراحل مع استخدام الهزازات والمعالجة بالبخار ، بعد عدة ساعات تنقل الأعمدة لمنطقة التشوين ثم تنقل إلى الموقع عن طريق مقطورات خاصة ، حيث ترفع بالأوناش وهى فى وضع أفقى (تراعى هذه الحالة من التحميل فى تسليح الأعمدة) .

وعند تركيب الأعمدة تستخدم الموازين لضمان الرأسية ، وتستخدم الشدات المؤقتة لضمان عدم تحركها لحين التثبيت الدائم لها بعد صب الوصلات .

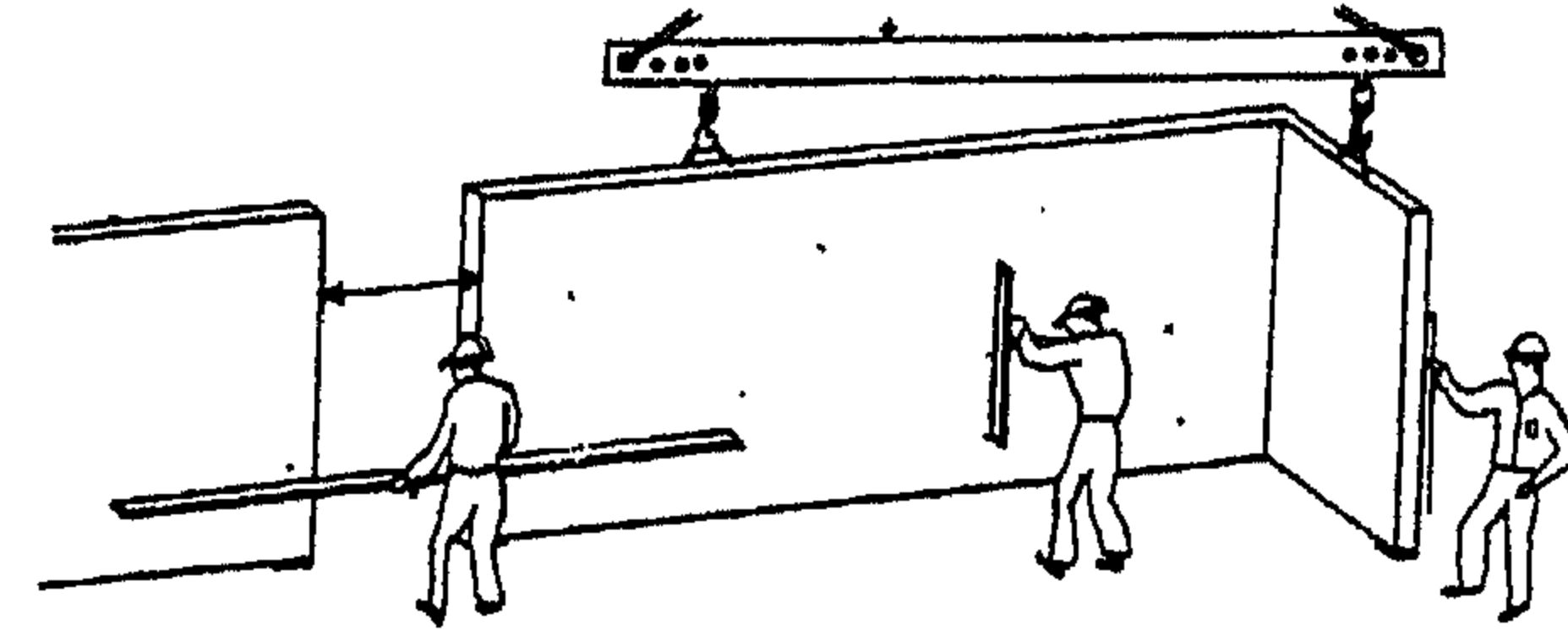
ب - الحوائط :

وتنتج فى بطاريات رأسية بالنسبة للحوائط الداخلية ، أو فى بطاريات (فرم) أفقية بالنسبة للحوائط الخارجية - المحتوية على طبقة عزل حرارى - ويمكن أن يتم عمل التكسية الملائمة للحوائط الخارجية بحيث تنتج الحوائط كاملة التشطيب .

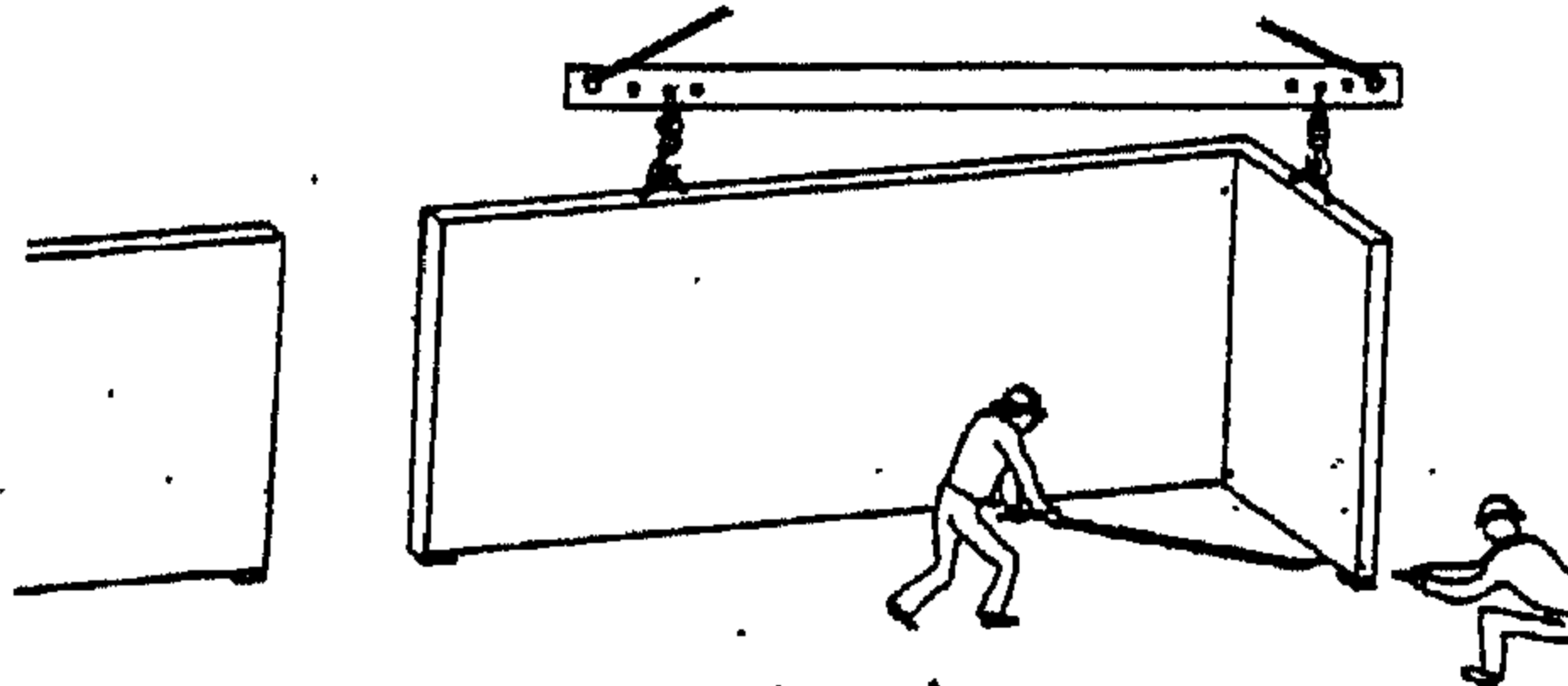
ويستخدم فى تسليح هذه الحوائط شبكات صلب التسليح مع وضع تسليح إضافى حول الفتحات وأسياخ خاصة للرفع ، ويستعمل الأسمنت سريع التصلد والزلط ذو المقاس الصغير وإضافات للحصول على القوة المبكرة ، وتتم المعالجة بالبخار لسرعة فك الفرم .

وتشون الحوائط رأسياً فى المصنع ، ثم تنقل فى مقطورات إلى الموقع حيث ترفع

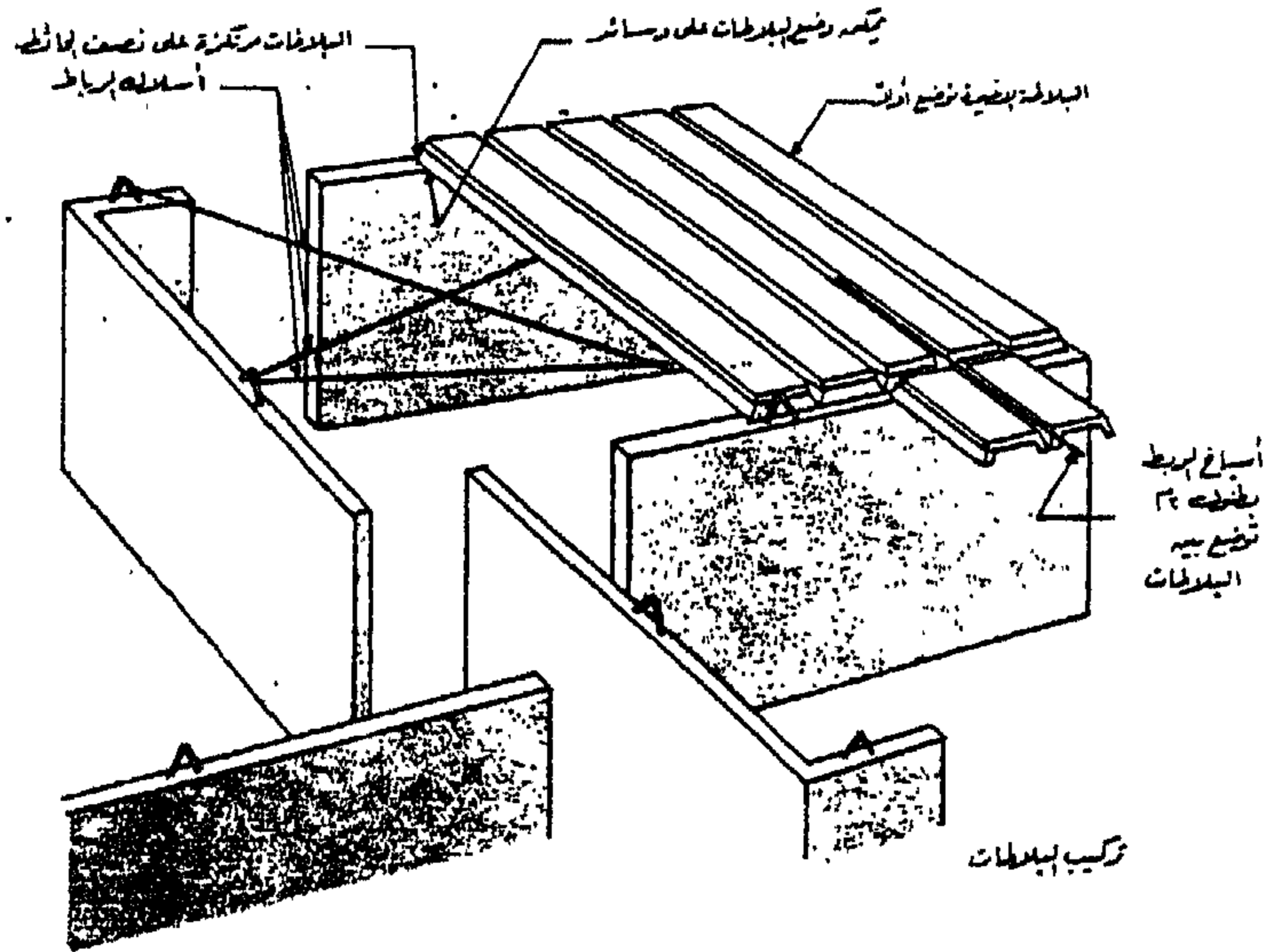
مباشرة بالأوناش إلى أماكن التركيب ، ويتم ضبط الرأسية والأفقية وإضافة تسليح
الوصلات وصبها بالموقع - شكل (٨ / ١) .



طريقة ضبط رأسية الحوائط



طريقة ضبط أفقية الحوائط



شكل (٨ / ١) أحد أنواع المبانى الجاهزة من الحوائط والبلاطات الصغيرة

جـ - البلاطات :

تصنع أفقية فى قوالب خاصة بها (فرم) ، حيث تركيب شبكات صلب التسليح وحديد الربط الجانبي (Dowels) وحديد التعليق وعلب الاتصال ومواسير الكهرباء ، وبعد الصب والمعالجة بالبخار تشون أفقياً بالمصنع ، ثم تنقل بالمقطورات إلى الموقع حيث تركيب فوق الحوائط - أو الأعمدة والكمرات - باستخدام الأوناش وموازن التسوية ، ويضاف تسليح الوصلات الأفقية وتصب بالموقع .

وعند تركيب الأعمدة أو الحوائط على البلاطات تستعمل القوائم المائلة - شدات مؤقتة - لضمان عدم تحركها حتى يتم صب الوصلات وتصلد الخرسانة .

٣ / ١ / ٢ - المميزات والعيوب :

أما المميزات فهي :

- أ - تستخدم فى أعمال الإنشاء النمطى السريع ، حيث توفر الوقت والعمالة .
- ب - توفر استهلاك الشدات .
- ج - الإنتاج يتم فى ظروف مثلى ، حيث تخضع جميع العناصر الإنشائية للمراقبة العالية أثناء التصنيع والمعالجة .
- د - إمكانية الحصول على أشكال معمارية يصعب الحصول عليها تقليدياً وتشطيبات الحوائط الخارجية يصعب عملها بالموقع .

وأما عيوبها فهي :

- أ - أى تعديل يصعب تنفيذه بعد الإنتاج ويؤثر على سرعة التنفيذ .
- ب - هناك قيود على الأبعاد القصوى بما يناسب قدرات معدات النقل والتركيب .
- ج - ضرورة توفر قاعدة صناعية ناجحة لتصنيع الفرغ والأوناش ومعدات النقل لخدمة المصانع .
- د - يجب ألا يبعد الموقع عن المصنع كثيراً ، ويجب توفر طرق ممهدة بينهما .
- هـ - ضرورة توفر عمالة فنية مدربة وخطة تنفيذية تراعى تسلسل التصنيع والتركيب .

و - الوصلات نقاط ضعف فى المنشأ ، وقد يحدث بها تسرب للمياه .

٣ / ١ / ٣ - التصدعات المرتبطة بها :

أ - تحدث تصدعات عند النقل والتركيب وخاصة إذا كانت الطرق غير ممهدة ، والعمالة ليست على درجة عالية من التدريب .

ب - قد يحدث تصدعات بالوصلات نتيجة سوء التنفيذ أو نفاذية خرسانة الوصلات .

ج - فى حالة المباني الجاهزة من الحوائط الحاملة ، فإن حدوث انفجار بالطوابق السفلى يزيل حائط أو أكثر من مكانه مما يؤدي إلى انهيار متتابع Progressive collapse فى الحوائط العليا ، وإن كانت المواصفات الحديثة تنص على تسليح الوصلات تسليحاً يكفى لتلافى هذا الانهيار .

٣ / ٢ - البلاطات المفرغة سابقة الإجهاد والصب :

٣ / ٢ / ١ - الوصف :

يرتكز هذا النوع من البلاطات على حوائط حاملة من الطوب أو الخرسانة المسلحة أو على كمرات ، ويمكن تصنيع هذه البلاطات المفرغة بقطاعات مختلفة العمق حسب البحر ، وتصنع بالأطوال المطلوبة حتى ١٢ م - شكل (٩ / ١) - وتصب هذه البلاطات فى قوالب خاصة ترص فيها أسلاك الشد - التسليح الرئيسى - بطول القالب ، بحيث يربط طرفها فى نهاية القالب والطرف الآخر فى ماكينة الشد ، ثم تشد الأسلاك بالقوة المطلوبة حسب التصميم ، ثم تصب الخرسانة بعد ذلك لتتلاءم السمك السفلى للبلاطة وكذلك الأعصاب الرأسية بين الفتحات ، ثم توضع شبكة التسليح العلوية ويصب السمك العلوى للبلاطة .

ويتم تركيب البلاطات على الحوائط باستخدام الأوناش ، ثم تسليح الوصلات وتتملأ بالمونة - شكل (٩ / ١) .

٣ / ٢ / ٢ - المميزات والعيوب :

أما مميزاتها فهي :

أ - توفير الوقت والشدة الخشبية .

ب - الحصول على مساحات كبيرة خالية من الركائز أو الكمرات الداخلية .

وأما عيوبها فهي :

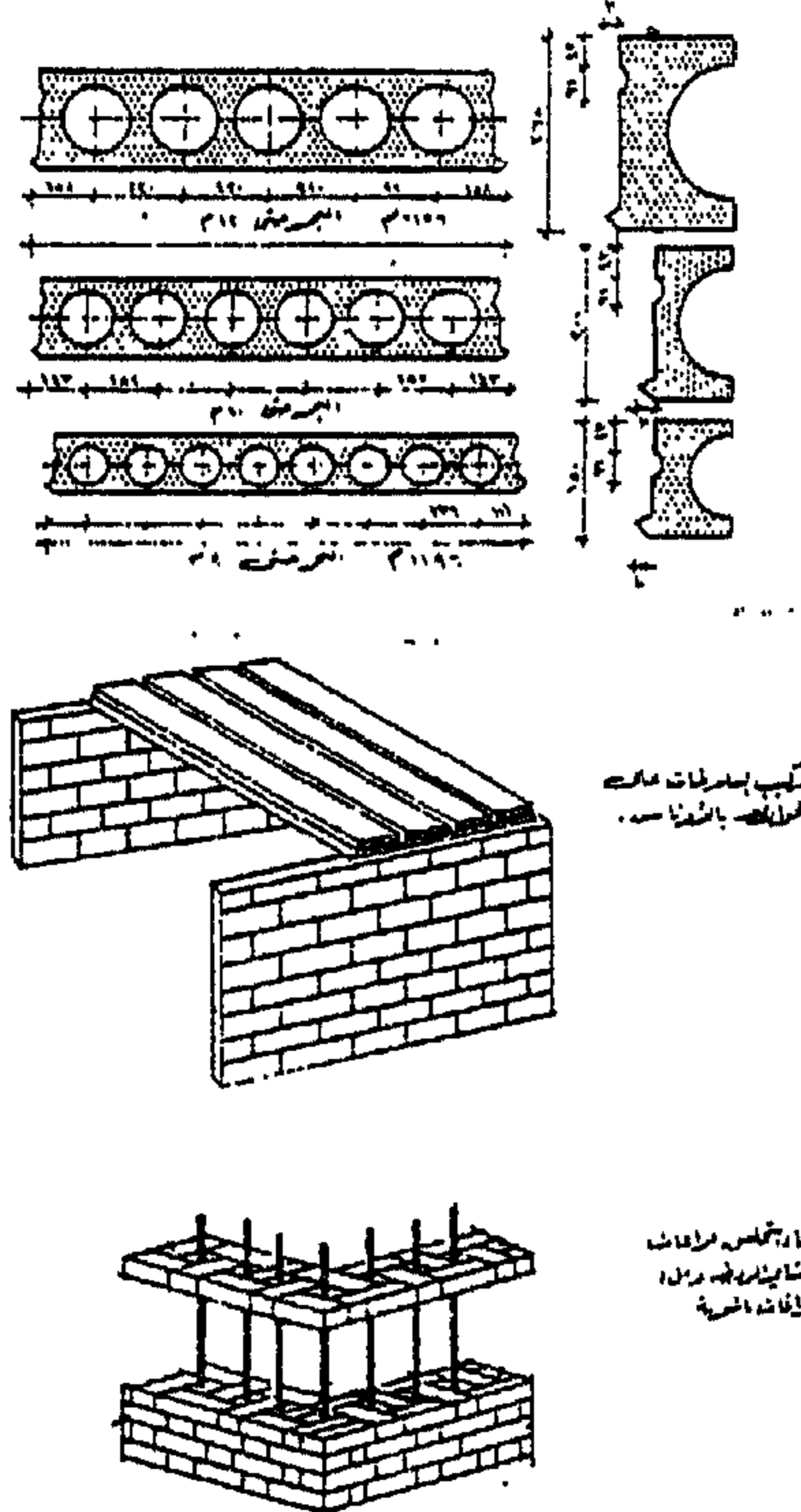
أ - عالية التكلفة .

ب - لا تصلح للمباني العالية الارتفاع .

٣ / ٢ / ٣ - التصدعات المرتبطة بهذا النظام :

أ - تحدث تصدعات للبلاطات عند نقلها ، في حالة بُعد الموقع عن المصنع ، أو عدم وجود طرق ممهدة .

ب - تحدث تصدعات بوصلات البلاطات مع الحوائط والكمرات واتصال البلاطات مع بعضها البعض .



شكل (٩ / ١) البلاطات المفرغة سابقة الإجهاد والصب

المراجع

- ١ - الدكتور محمد محمود عويضة : « التكنولوجيا الحديثة فى البناء » ، دار النهضة العربية للطباعة والنشر ، ١٩٨٤ .
- ٢ - التقرير الدورى الثانى لبحث : « أنسب أساليب الإنشاء واقتصادياتها » ، أكاديمية البحث العلمى والتكنولوجيا والهيئة العامة لبحوث الإسكان والبناء والتخطيط العمرانى ، ١٩٨٦ .
- ٣ - التقرير الدورى الرابع والنهائى لبحث : « أنسب أساليب الإنشاء واقتصادياتها » ، أكاديمية البحث العلمى والتكنولوجيا والهيئة العامة لبحوث الإسكان والبناء والتخطيط العمرانى ، ١٩٩١ .
- ٤ - المهندس عبد اللطيف أبو العطا البقرى : « الموسوعة الهندسية لإنشاء المباني والمرافق العامة » ، ١٩٨٤ .
- ٥ - تقرير بحث : « Prefab Concrete Construction » ، أكاديمية البحث العلمى والتكنولوجيا وجامعة عين شمس .

6 - Cutler, laurence Stephan and Sherrie Stephan Cutler

" Hand-book of housing systems for Designing and Developers " van Nostrand Reinhold company, New york 1974 .

الباب الثانى

عيوب وانهارات المنشآت الخرسانية

أ. د. شريف أبوالمجد ، أ.م.د. منير كمال

مقدمة :

لا شك أن تصدع المباني الخرسانية قد أصبح ظاهرة ملحوظة ، وظهرت العيوب وتعددت أنواعها وأشكالها ، بدءاً من الشروخ البسيطة أو الليل الخفيف إلى الانهيار الجزئى أو الكامل للمبنى ، وتعددت أسبابها من أخطاء فى التصميم أو قصور فى دراسة التربة أو الظروف المحيطة وعدم كفاية فى التفاصيل إلى أخطاء فى التنفيذ وقصور فى الإشراف عليه .

ورغم تعدد عوامل الأمان وكبرها ، والاحتياطات التى تتخذ لمواجهة أخطاء التصميم والتنفيذ وسوء الاستعمال - والتى تصل فى بعض الحالات إلى ثلاثة أضعاف الأحمال المتوقعة - فما زالت العيوب تظهر بالمباني الخرسانية وقد تنهار ، ولا شك أن دراسة أسباب هذه العيوب يساعد على الحد منها ، والتعلم من أخطاء الغير التى أدت إلى حدوث انهيارات يمنع تكرار هذه الأخطاء مرة ثانية ، ولا شك أيضاً أن التخلص من هذه العيوب والحد من هذه الانهيارات ممكن بتحسين فهمنا لطبيعة الخرسانة المسلحة كمادة إنشائية ، وطبيعة الحركة فى المنشآت غير المحددة استاتيكية ، وتأثير ذلك على تدهور المنشأ وطبيعة الأحمال - حتى غير المتوقع منها - وكيفية تأثير المنشأ بها .

وتدهور الخرسانة المسلحة وانهيار بعض المنشآت الخرسانية ظاهرة عالمية وإن كانت أكثر حدة فى الدول النامية ، ويظهر ذلك فى الكم الكبير من المؤتمرات والنشرات العلمية والأبحاث الخاصة بعيوب الخرسانة المسلحة وكيفية إصلاحها فى العقدين الأخيرين ، ولقد تطورت كودات التصميم ومواصفات التنفيذ كثيراً فى الفترة الأخيرة مع تطور فهمنا لطبيعة الخرسانة المسلحة كمادة إنشائية ، وفهمنا للعوامل المؤثرة على تصرف المنشآت الخرسانية ، وقد كنا - نحن المصريين - أسبق الأمم إلى إصدار كود اللينثاين قبل أربعة آلاف

سنة (سنة ٢٢٠٠ ق . م) ، وهو كود هامورابي والذي يحتوى على خمسة قواعد مُعاقبة البناء الذى يتسبب فى عيوب أو انهيار المبنى ، ورغم أن بعض هذه القواعد حاد جدا بالمقارنة بما تنص عليه قوانين العقوبات المعاصرة ، فإن القاعدتين الرابعة والخامسة - مع بعض التعديلات عليها - تمثل المسؤولية الجنائية المعاصرة تمثيلا جيدا .

كود هامورابي

١- إذا قام ببناء بيتا منزل لرجل ولم يجعل منزله متينا وانهار هذا المنزل وتسبب فى مقتل الرجل مالك المنزل ، فإن هذا البناء يجب أن يُقتل .

٢- إذا تسبب الانهيار فى مقتل ابن صاحب المنزل فيقتل ابن البناء الذى بنى المنزل .

٣- إذا تسبب الانهيار فى مقتل عبد من عبيد صاحب المنزل فيقدم البناء لصاحب المنزل عبدا مساويا فى القيمة للعبد الذى مات .

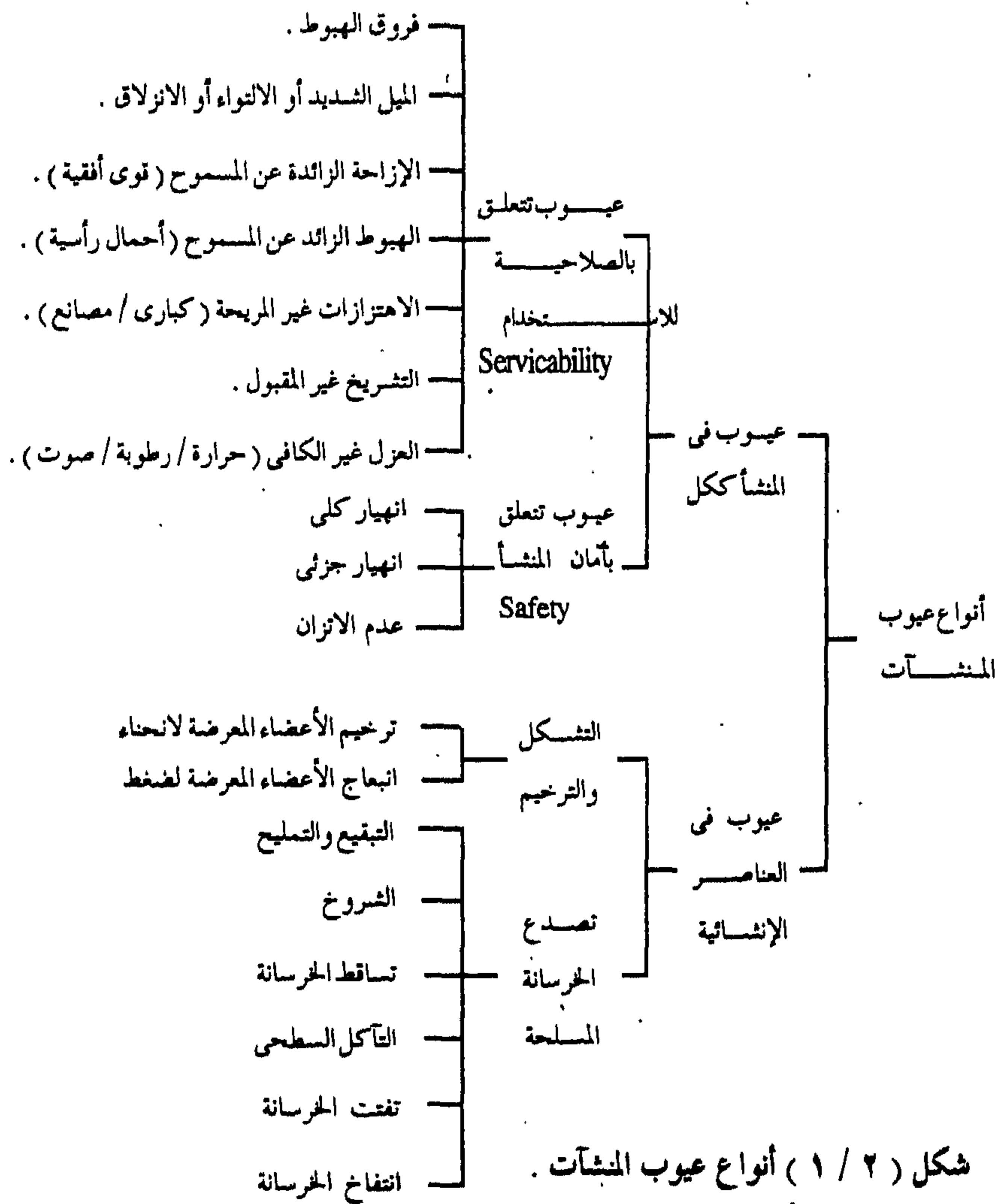
٤- إذا تسبب الانهيار فى تدمير بعض الممتلكات فإن البناء ملزم بإعادة هذه الممتلكات ، ولأنه لم يبن منزلا متينا وانهار فعليه إعادة بناء المنزل على نفقته الخاصة .

٥- إذا قام ببناء بيتا منزل لرجل ولم يجعل هذا المنزل مطابقا للاحتياجات المتفق عليها وسقطت إحدى حوائطه فإن البناء سيقوم بإعادة بناء الحائط وتقوية المبنى على نفقته الخاصة .

ويشتمل هذا الباب على استعراض لأنواع العيوب الشائعة فى المنشآت الخرسانية ، والأسباب الرئيسية التى تؤدى إلى حدوث هذه العيوب وقد تؤدى إلى الانهيار الكلى أو الجزئى للمبنى أو الوصول إلى حالة عدم اتزان .

أنواع العيوب بالمنشآت

وهى إما عيوب فى المنشأ ككل كالميل والالتواء والانزلاق والإزاحة الأفقية ، أو عيوب فى عناصره الإنشائية كالتشكل والترخيم وتدهور الخرسانة المسلحة ، وعيوب المنشأ ككل إما أن تتعلق بصلاحيّة المنشأ للاستخدام (Serviceability) ولا تؤثر فى سلامة المنشأ ذاته ، وإما أن تتعلق بأمان المنشأ ، وقد تصل إلى الانهيار الكامل - شكل (١/٢) .



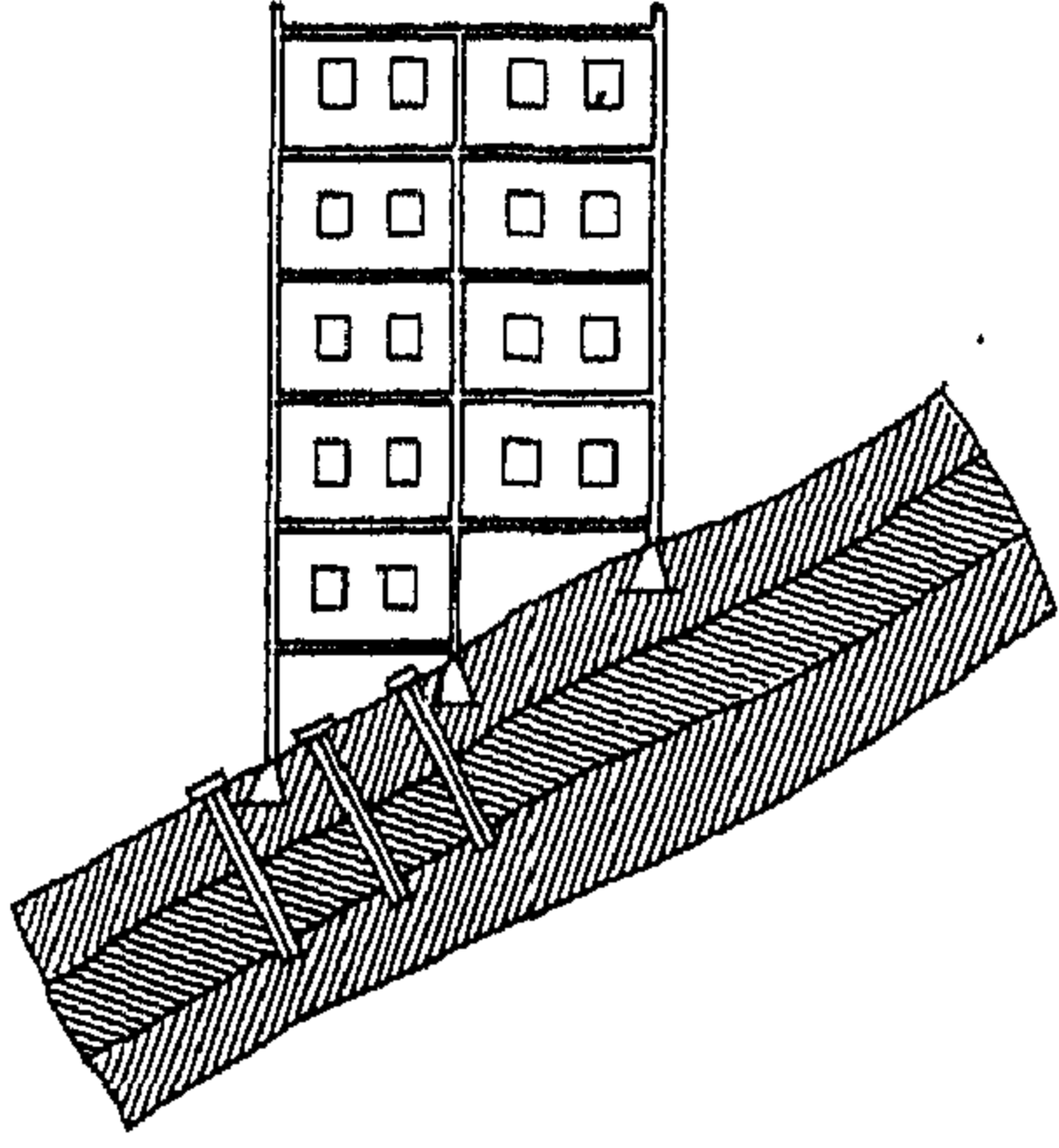
١ / ١ - عيوب تتعلق بالصلاحيّة للاستخدام :

إذا تعرض المنشأ إلى فرق في الهبوط يؤدي إلى انحرافه عن وضعه الأصلي ، فقد يميل المنشأ أو يحدث له التواء ، وقد ينزلق المنشأ نتيجة وجوده على تربة تختلف طبيعتها اختلافاً كبيراً أو حدث بها انهيار محدود - شكل (٢ / ٢) - وعندما يتعرض المنشأ إلى هبوط غير منتظم تحت أجزائه ، فإن هذا يؤدي إلى ظهور تشققات أو شروخ بالحوائط في المقام الأول ، ثم تظهر الشروخ في الأعضاء الخرسانية بعد ذلك - شكل (٢ / ٢) - إلا أنه في بعض الحالات قد لا تظهر هذه الشروخ في الحوائط نتيجة جساءة المبنى ككل (المبنى المرتفعة) .

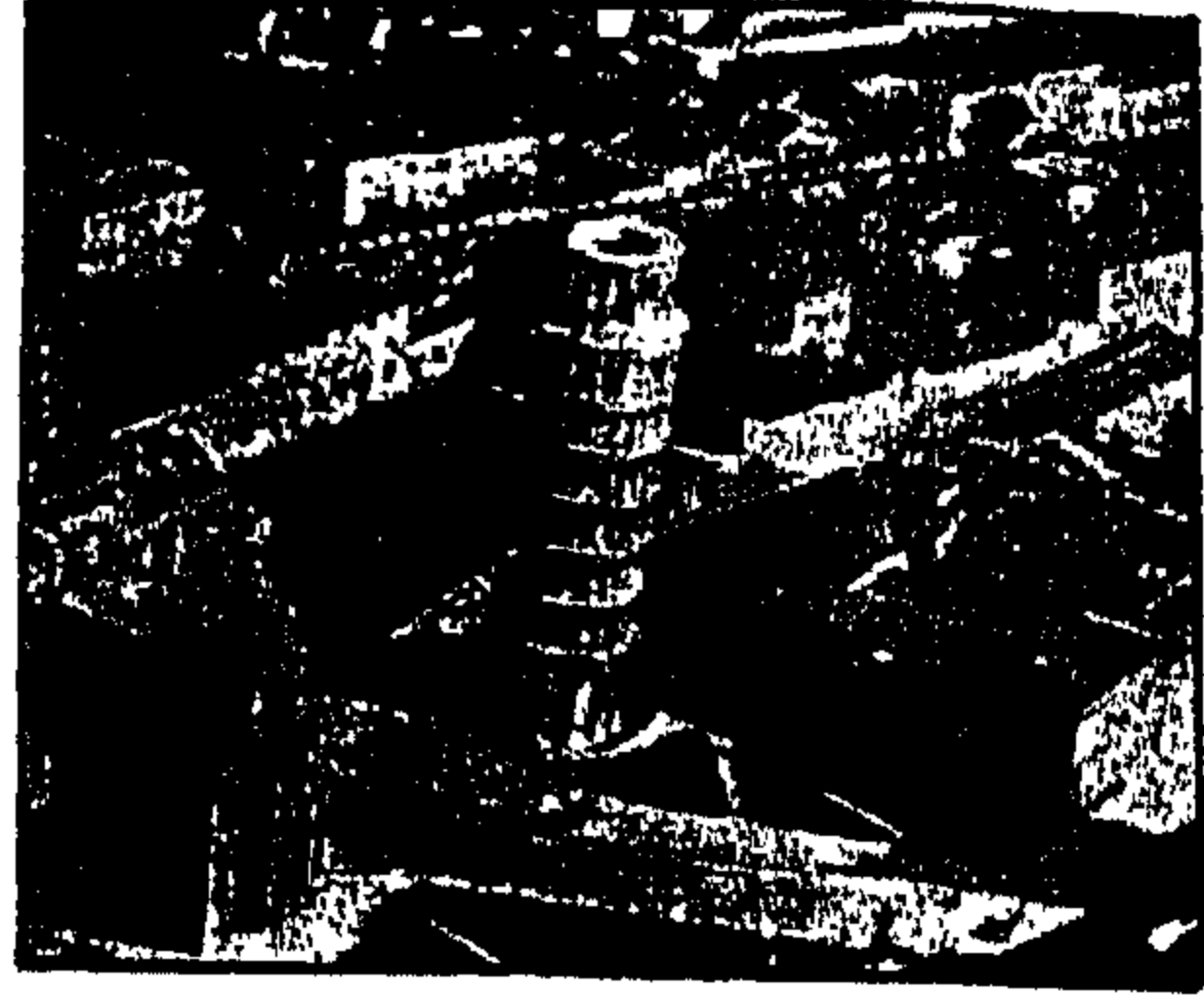
وإذا تعرض المنشأ إلى إزاحة أفقية زائدة عن المسموح بها أو هبوط رأسي أكبر من اللازم ، فسيؤثر ذلك بالتأكيد على أدائية المبنى ، كما يؤثر عليها العزل غير الكافي ضد الحرارة أو الرطوبة أو الصوت والاهتزازات غير المريحة في حالة الكبارى مثلاً (حركة السيارات) أو المصانع (اهتزازات الماكينات) .

١ / ٢ - عيوب تتعلق بأمان المنشآت :

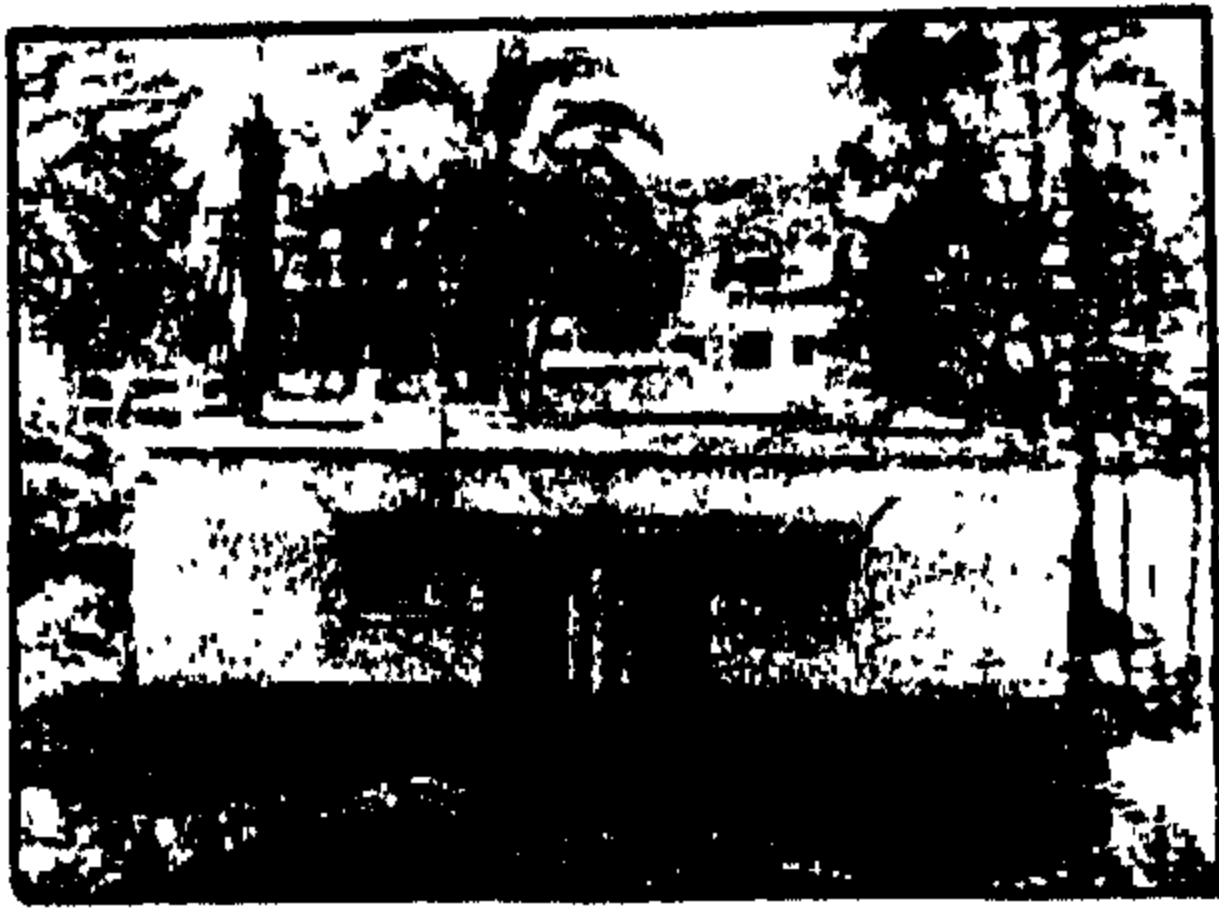
الشروخ الإنشائية والصدأ الشديد لصلب التسليح وسوء أو تغيير الغرض من استخدام المبنى والتحميل الزائد ، كل ذلك يؤدي إلى تعريض سلامة المنشأ للخطر ، فيصل إلى حالة عدم اتزان أو انهيار جزئي ، وقد يصل الأمر إلى الانهيار الكلي للمنشأ - شكل (٣ / ٢) بالملاحق الملون .



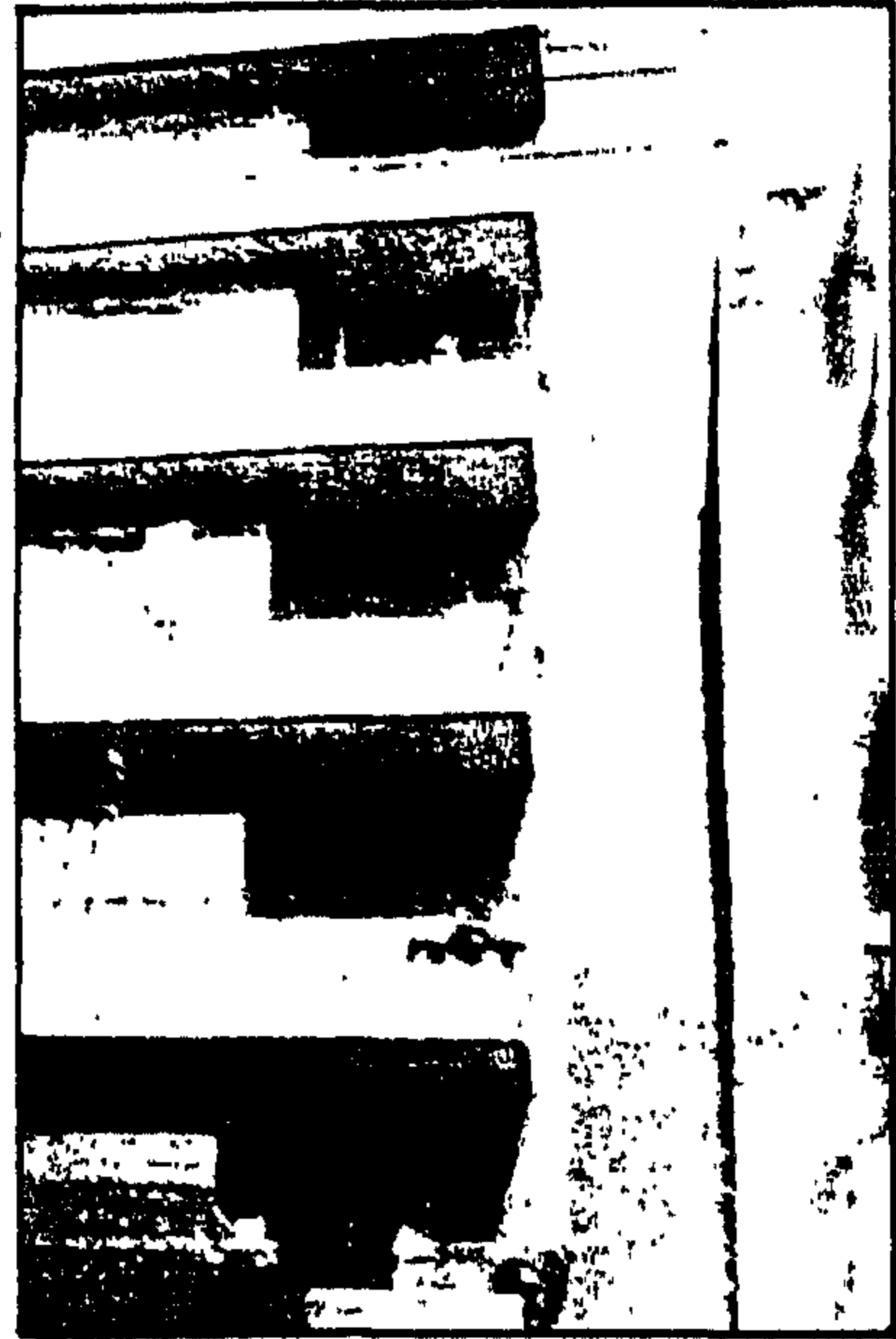
ب - تزحلق المنشأ



أ - ميل المنشأ



د - هبوط غير متساو



ج - ميل المبنى

شكل (٢ / ٢) ميل وتزحلق المنشآت والهبوط غير المتساوى بها .

١ / ٢ / ١ - انهيار المباني في أوروبا :

إن المهندس الحصيف هو الذى يتعلم من أخطاء الآخرين ، وفى دراسة جيدة عن انهيار المباني في أوروبا حتى سنة ١٩٧٥ بعنوان : « دروس من الانهيارات الأوروبية » (١) تم تحليل نتائج حوالى ٨٠٠ حالة انهيار تسببت فى إصابة ٥٢٩ شخصاً ومقتل ٥٠٤ آخرين ، وتظهر نتائج هذا التحليل فى الجدول من (١/٢) إلى (٣/٢) .

الحالة	التوصيف	نسبة من كل الحالات (٧٠٠ حالة)	نسبة من الحالات التى صاحبها إصابات (٦٠ حالة)	نسبة من الحالات التى صاحبها وفيات (٦٠ حالة)	نسبة من الحالات التى صاحبها التكلفة الكلية (٧٠٠ حالة)
نوع المنشأ	مبانى (سكنية أو إسكان إدارى)	٥٢٪	٣٧٪	٤٠٪	٣٠٪
	منشآت صناعية	٢٢٪	١٢٪	٨٪	٣١٪
	منشآت الطرق (كبارى/أنفاق)	١١٪	٤٠٪	٣٧٪	٣٢٪
	منشآت الصرف (مواسير/محطات)	٧٪	٧٪	٧٪	٤٪
	سقوط المظلات	٢٪	٢٪	-	١٪
	غير معلومة	٦٪	٢٪	٨٪	٢٪
وقت حدوث الانهيار	المبانى	منشآت صناعية	منشآت طرق		
	أثناء الإنشاء	٥٣٪	٣٥٪	٦٩٪	٦٤٪
	أثناء الاستعمال	٤٣٪	٦٤٪	٢٩٪	٣١٪
الجزء الذى تسبب فى بدء الانهيار	معدات التشييد	٧٪	١٠٪	١٣٪	١٪
	الحفر	٥٪	٣٪	٣٪	٣٪
	المنشآت الثانوية	٩٪	٢٢٪	١٨٪	١١٪
بدء الانهيار	الهيكل أو المنشأ	٤٤٪	٤٨٪	٥٣٪	٧٢٪
	الأعمال الداخلية	١٩٪	٢٪	٢٪	٣٪
	التركيبات الفنية	١١٪	٨٪	٣٪	٦٪
	غير معلوم	٥٪	٧٪	٨٪	٤٪

جدول (١/٢) توزيع كل الحالات المسجلة حسب نوع المنشأ ، وقت حدوث

الانهيار والجزء المتسبب فى الانهيار (١)

نسبة من حالات الانهيار الإنشائي (٣٨٤ حالة)	نسبة من هذه الحالات صاحبها إصابات (٤٧ حالة)	نسبة من هذه الحالات صاحبها وفيات (٤٦ حالة)	نسبة من التكلفة الكلية (٣٨٤ حالة)	الحالة	الوصف
١٣٪	٦٪	٩٪	٣٪	نوع الانهيار	انهيار مفاجئ (٦٣٪)
٢٩٪	٦٢٪	٦٥٪	٦٧٪		
١١٪	٢٠٪	٤٪	٥٪		
١١٪	٢٨٪	٢٠٪	١٩٪		
١٦٪	—	—	٢٪	عدم صلاحية	تسريح شديد تشكل زائد أخرى (٣٧٪)
٧٪	٢٪	٢٪	٣٪		
١٤٪	—	—	١٪		
٣٧٪	٢٠٪	١٩٪	٤١٪	المرحلة التي أخذ فيها تأثير العوامل المسببة للانهيار بطريقة خاطئة	التخطيط/ التصميم التنفيذ التخطيط والتنفيذ مع الاستعمال أخرى
٣٥٪	٤٦٪	٤٧٪	٢٠٪		
١٨٪	١٧٪	٢٤٪	٢٢٪		
٥٪	٦٪	٥٪	١٤٪		
٥٪	١١٪	٥٪	٤٪		
٢٨٪	٢٣٪	٢١٪	٤١٪	الطرف المسئول عن أخذ تأثير العوامل المسببة للانهيار بطريقة خاطئة	المصمم المقاول المصمم والمقاول مع المعمارى المستعمل للمبنى آخرون
٣٣٪	٤٦٪	٤٥٪	١٧٪		
١١٪	٢٣٪	٢٤٪	٢٠٪		
٨٪	—	—	١٪		
٥٪	٣٪	٣٪	١٣٪		
١٥٪	٥٪	٧٪	٨٪		
٣٣٪	٢٣٪	٢١٪	٣٢٪	احتمالات اكتشاف الخطأ	محتمل بعد عمل تحقق Check : إضافي فى مرحلة : التنفيذ التشغيل
١٧٪	١٠٪	١٧٪	٩٪		
٥٪	٧٪	٦٪	١٨٪		محتمل بدون عمل تحقق إضافي
٣٢٪	٩٪	١١٪	٢٦٪		مستحيل
١٣٪	٥١٪	٤٥٪	١٥٪		

جدول (٢/٢) توزيع حالات الانهيار الإنشائي حسب نوع الانهيار ، والمرحلة التي حدث

فيها الخطأ والأطراف المسببة فى الخطأ ، واحتمالات اكتشافه قبل الانهيار^(١)

الحالات التي حدث فيها أخطاء في مرحلتى التخطيط / والتصميم	نسبة من ٦٩٢ حالة	نسبة من مكلفة ٢٩٥ حالة	نسبة من ١٧ حالة صاحبها إصابات	نسبة من ١٨ حالة صاحبها وفيات
الخطأ فى : أعمال أساسية conceptual work التحليل الإنشائى الرسومات والتفاصيل الإعداد للتنفيذ أسباب مجمعة	%٣٤ %٣٤ %١٩ %٩ %٤	%١٢ %٤١ %١٢ %١٨ %١٧	%١٧ %٣٩ %٥ %٢٢ %١٧	%١٨ %٤٩ %٩ %٥ %١٩

الحالات التي حدث فيها عدم اتباع لمستندات المشروع	نسبة من ٢٧٩ حالة عدم اتباع مستندات فى مرحلة التخطيط	نسبة من ٢٦٢ حالة عدم اتباع مستندات فى مرحلة التنفيذ	نسبة من ٣٢ حالة عدم اتباع مستندات فى مرحلة الإشراف
المستندات التي لم تتبع : الكود والمواصفات الرسومات ونوع المواد الإرشادات والتوصيات Manuals & recommendations القواعد العامة للتنفيذ والإشراف أسباب مجمعة	%١٦ %٨ %٥ %٦٣ %٨	%٧ %١٧ %١٦ %٥٨ %٢	- %٩ %١٦ %٧٥ -

أنواع الأخطاء	المتسبب فيها المصمم (نسبة من ٢١٢ حالة)	المتسبب فيها المقاول (نسبة من ٢٦١ حالة)
معرفة غير كافية الاعتماد على الآخرين اختيار مواد سيئة لأسباب اقتصادية التقليل من تأثير العوامل الضارة الإهمال والخطأ الجهل وعدم التقدير السليم أسباب أخرى	%٣٦ %٩ %١ %١٦ %١٣ %١٤ %٩	%١٤ %٥ %٢ %١١ %٤ %٥٤ %١١

جدول (٣ / ٢) توزيع الحالات حسب نوع الخطأ والأعمال التي ظهر فيها
والمستندات التي لم تتبع (١)

ويظهر من تحليل نتائج تلك الانهيارات ما يلي :

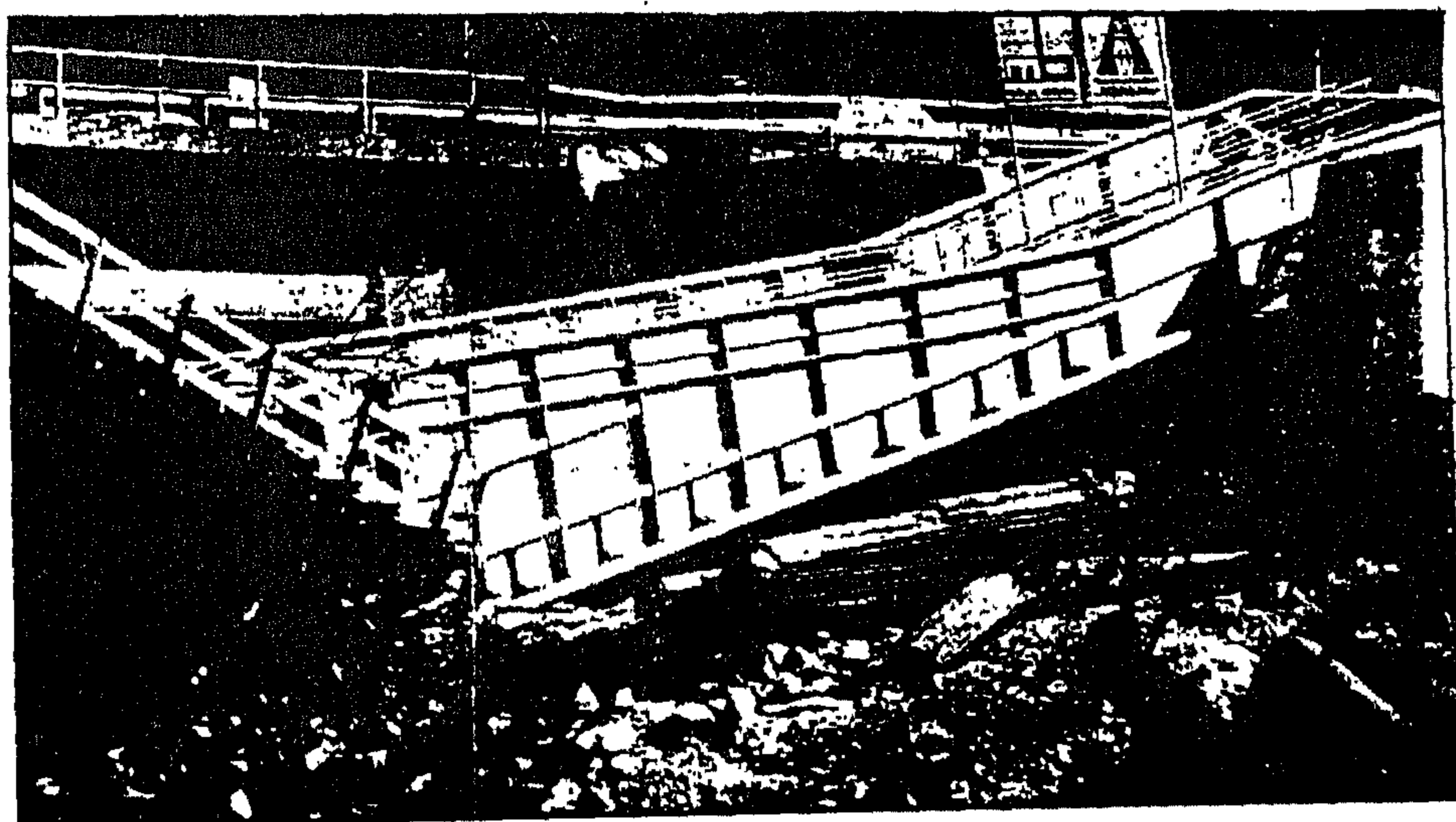
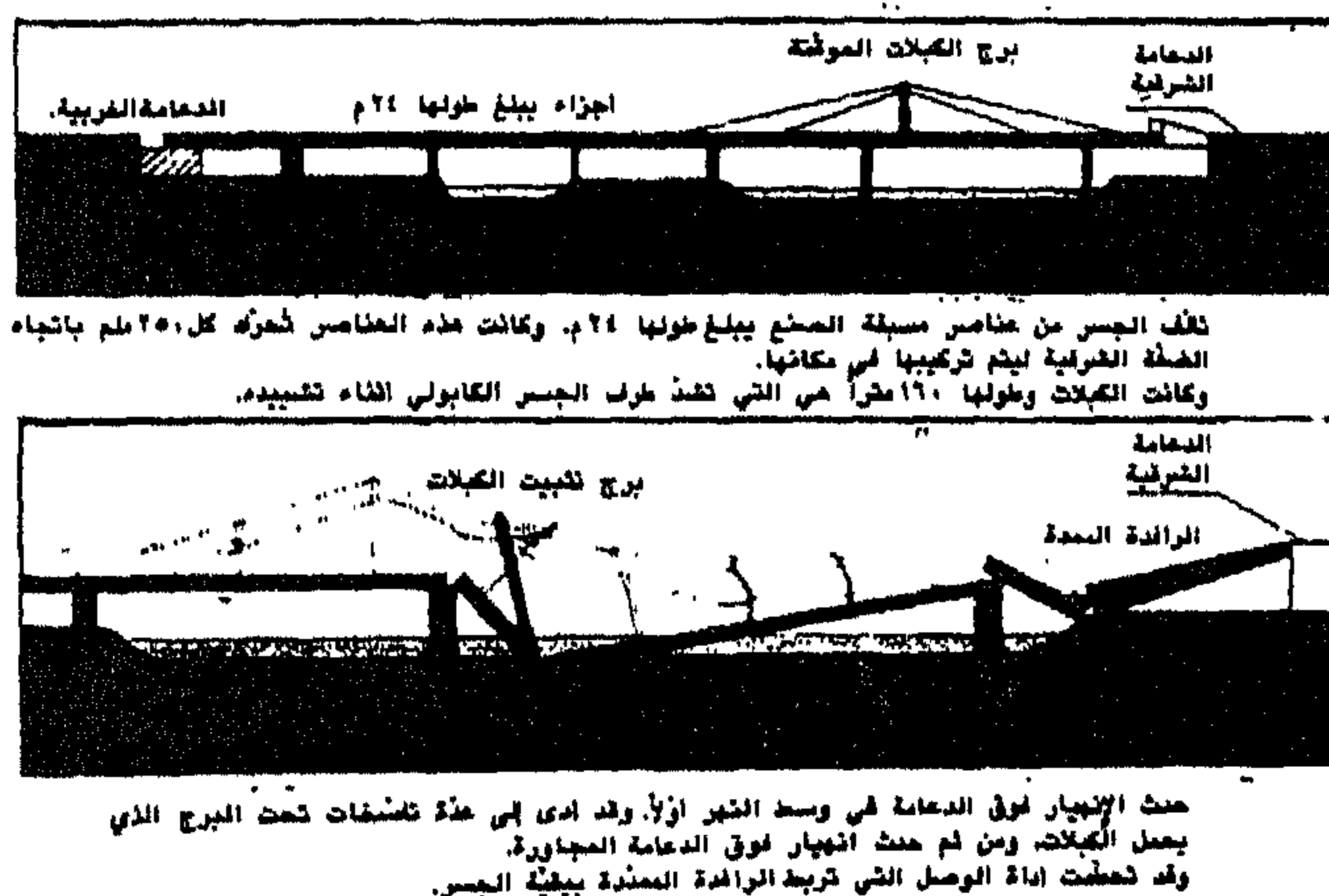
١ - نصف الانهيارات حدثت فى المباني السكنية والإدارية ، وخمسة فى المنشآت الصناعية ، والعشر فى منشآت الطرق ، ورغم ذلك فإن نسبة الانهيارات التى أدت إلى إصابات أو وفيات متساوية فى حالة المباني ومنشآت الطرق - الكبارى والأنفاق - مما يدل على أهمية العناية بأمان منشآت الطرق ، أما بالنسبة للتكلفة فنسبة تكلفة انهيارات المباني والمنشآت الصناعية والكبارى متساوية رغم قلة عدد الانهيارات فى القسمين الأخيرين عن القسم الأول ، مما يدل على أن انهيار المنشآت الصناعية أو الكبارى مكلف جداً .

٢ - بالنسبة لوقت حدوث انهيارات المباني ، فتقريباً نصفها حدث أثناء الإنشاء ، والنصف الآخر أثناء الاستعمال ، أما المنشآت الصناعية ، فثلثا انهياراتها حدثت أثناء الاستعمال بعكس الكبارى ، حيث حدثت ثلثا انهياراتها أثناء الإنشاء ، وشكل (٤/٢) يبين انهيار كوبرى معلق فى ألمانيا الغربية أثناء إنشائه (سنة ١٩٨٨) وأدى ذلك إلى إصابة سبعة أشخاص بجروح خطيرة ، وبالنسبة للحالات التى حدثت بها إصابات أو وفيات بالذات فثلثا حالات الانهيار حدثت أثناء الإنشاء ، والثلث أثناء الاستعمال .

٣ - فى كل حالات الانهيار نجد أن الهيكل أو المنشأ الحامل هو الجزء الذى تسبب فى ٥٠ ٪ من حالات الانهيار ، يليه فى الخطورة المنشآت الثانوية (تسببت فى خمس الانهيارات التى صاحبته إصابات أو وفيات) ، ونجد أن ٦٣ ٪ من حالات الانهيار كلها هى انهيارات مفاجئة ، ونصفها عبارة عن تشرخ وانهيار (٣٠ ٪ من إجمالى الحالات) ، بينما ثلثا الحالات التى صاحبته إصابات أو وفيات هى انهيارات نتيجة حدوث تمزق وانهيار مفاجئ .

٤ - ونجد أن الخطأ فى أخذ تأثير العوامل التى تسببت بعد ذلك فى الانهيار ، يحدث فى مرحلة التخطيط / التصميم بنسبة الثلث ونسبة مقاربة فى مرحلة التنفيذ ، أما بالنسبة للحالات التى حدثت بها إصابات أو وفيات فنصفها تقريباً حدث الخطأ فيه فى مرحلة التنفيذ ، كما نجد أن المصمم والمقاول مسئولان بالتساوى عن هذه الأخطاء - ثلث الحالات لكل منهما - ، ولكن تأثير تكلفة أخطاء المصمم (٤٠ ٪) أكبر من تأثير تكلفة أخطاء المقاول (١٧ ٪) ، بينما أخطاء المقاول تسببت إصابات ووفيات أكثر (٤٥ ٪) من أخطاء المصمم (٢٢ ٪) ، وهذه الأخطاء كانت أساساً بسبب المعرفة غير

الكافية بالنسبة للمصمم ، وبسبب الجهل وعدم التقدير السليم للموقف بالنسبة للمقاول ، والأخطاء التي تحدث في مرحلة التخطيط / التصميم ثلثها بسبب أعمال ومفاهيم أساسية ، والثلث الثاني بسبب أخطاء التحليل الإنشائي ، ولكن أخطاء التحليل الإنشائي أكثر تكلفة بكثير ، كما أن نسبتها في الحالات التي حدثت بها إصابات أو وفيات أكبر .



شكل (٢ / ٤) انهيار جسر معلق أثناء إنشائه في ألمانيا الغربية

٥ - وفى الحالات التى حدث فيها عدم اتباع لمستندات المشروع ، فإن الغالبية من الحالات حدث الانهيار فيها بسبب عدم اتباع القواعد العامة ، سواء للتنفيذ أو لاستعمال المبنى أى أن التصرف السليم Common Sense لم يكن موجوداً .

٦ - ويظهر فى آخر جدول (٢/٢) أن فى ثلث الحالات التى حدث بها انهيار ، فإن القيام بعمل مراجعة إضافية Check فى مرحلة التخطيط / التصميم كان من شأنه اكتشاف الخطأ الذى أدى مستقبلاً إلى الانهيار ، والأهم من ذلك أنه فى ثمن الحالات فقط كان من المستحيل اكتشاف الخطأ ، وفى ٣٢٪ من الحالات كان من المحتمل اكتشاف الخطأ بدون أى مراجعة إضافية .

وفى الولايات المتحدة الأمريكية تحدث حالات انهيار باستمرار ، ومنها على سبيل المثال : انهيار مبنى من خمس طوابق فى شاطئ الكاكاو بفلوريدا أثناء الإنشاء ، وانهيار جزء من شدة برج تبريد من الخرسانة فى ولاية واشنطن ، وحدث فجوات أرضية عملاقة فى فلوريدا أدت إلى هبوط شديد للأساسات وانهيار المركز الاجتماعى Civic Centre بمدينة هارتفورد ، وانهيار سقف مبنى بمنطقة كمبر بمدينة كانساس ، وانهيار سقف آخر بمبنى روزمونت بولاية إلينوى ، وكل هذه الانهيارات فى السنوات الأخيرة من السبعينات فقط .

وفى مصر تحدث انهيارات لعمارات تحت الإنشاء - بمدينة ١٥ مايو - وعمارات لم يمض على إنشائها عشر سنوات - بالدقى - كما تحدث لعمارات آيلة للسقوط فى كل مكان ، ويحدث انهيار لشدة كوبرى على النيل بالقاهرة فتسقط الباكية - الجزء - المحمولة عليه ، ويحدث هبوط كبير فى الأساسات الخازوقية لكوبرى آخر وحريق فى كوبرى ثالث ، وحريق فى فندق خمس نجوم آخر يسقط ويدمر السيارات التى بالجراج نتيجة تحميل زائد شكل (٢/٢ - أ) ، ولكن لا يوجد إحصاء لهذه الحالات أو تسجيل لأسباب الانهيارات وفحص دقيق حتى نص إلى الدروس المستفادة منها .

٢/٢/١ - انهيار المباني فى مصر :

فى دراسة عن تصدعات المنشآت وعلاجها (٢) بالهيئة العامة لبحوث الإسكان بالقاهرة ، قام الفريق البحثى بدراسة بعض حالات الانهيارات فى مباني الخرسانة المسلحة فى الأربعين سنة الأخيرة (حوالى ٢٦٤ حالة) ، وتم تقسيم هذه الحالات إلى خمسة مجموعات حسب العقد الزمنى الذى حدث فيه الانهيار ، وكان توزيع نسبة الحالات التى تم التوصل فيها لسبب الانهيار إلى العدد الكلى للحالات كالتالى :

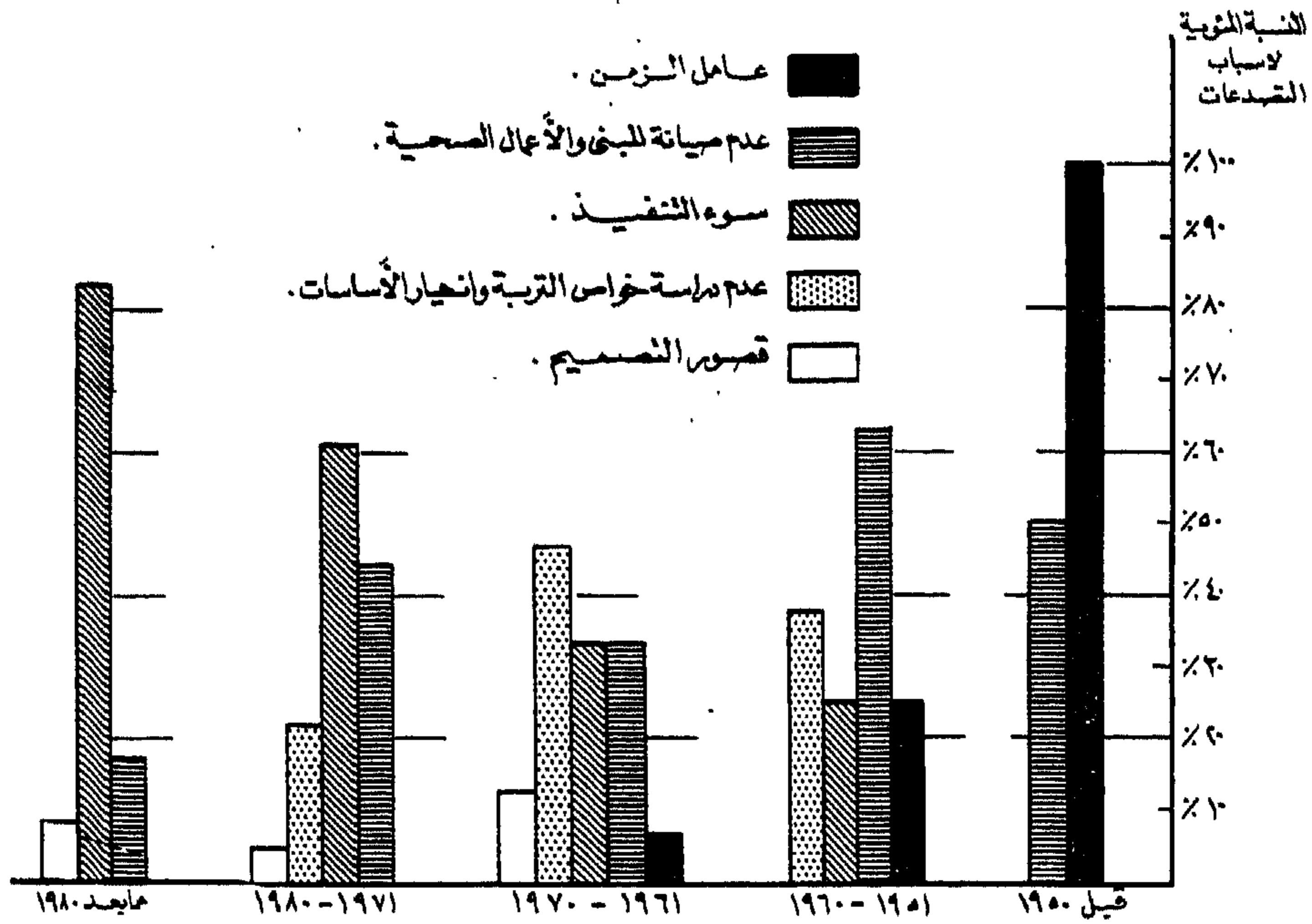
السنة	قبل ١٩٥٠	١٩٥٠/١٩٦٠	١٩٦٠/١٩٧٠	١٩٧٠/١٩٨٠	بعد ١٩٨٠
نسبة الحالات	٨,٧٥ %	١٠ %	١٨,٧٥ %	٢٥ %	١٧,٥ %

وقد حددت الدراسة الأسباب الرئيسية للانهيار فى :

- ١ - انتهاء العمر الافتراضى للمنشأ (عامل الزمن) ، مع عدم وجود صيانة لمدة طويلة ، ومعظم هذه المباني مضى على بنائها أكثر من شتين عاماً .
- ٢ - سوء استعمال السكان للمرافق الصحية ، وعدم صيانة هذه المرافق .
- ٣ - سوء التنفيذ ، سواء عند صب الهيكل الخرسانى كعدم الاعتناء بالخلطة الخرسانية أو عدم الاعتناء بوضع حديد التسليح بطريقة سليمة ، أو فى التشطيبات كأعمال السباكة وعدم وجود طبقات عازلة .
- ٤ - التصدعات الناشئة عن حدوث هبوط متفاوت للتربة ، بسبب عدم دراسة خواص التربة والأساسات قبل إقامة المبنى .
- ٥ - قصور فى التصميم أو تعرض المنشأ لأحمال زائدة عن المسموح بها فى مواصفات التصميم ، وشكل رقم (٢ / ٥) يوضح النسبة المئوية للانهيارات نتيجة كل سبب من هذه الأسباب فى كل عقد من الزمان ، حيث اتضح أن الانهيارات فى كل عقد (كل مجموعة) تقريبا متشابهة (باستثناء المباني القديمة جداً) مع ملاحظة أنه فى بعض الحالات قد يوجد أكثر من سبب للانهيار - مثل المجموعة الأولى ، حيث عامل الزمن وعدم الصيانة مسئولان معا عن نصف انهيارات هذه المجموعة والنصف الآخر سبب عامل الزمن وحده - والنتيجة الملفتة للنظر فى هذا الشكل أن سوء التنفيذ لم يكن عاملاً مؤثراً فى انهيار المباني قبل عام ١٩٥١ ، ولكن بعد ذلك زادت النسبة

المثوية لانهييار المباني نتيجة سوء التنفيذ حتى وصلت إلى ٨٣٪ من مجموع الانهييارات فى الحالات التى درست بعد عام ١٩٨٠ .

ولا توجد إحصاءات دقيقة عن عدد الانهييارات السنوية فى مصر ، ولا توصيف هندسى للحالات المنهارة ويمكن من الوصول إلى نتائج يعتمد عليها ، وآخر إحصائية أمكن للفريق البحثى الحصول عليها بالنسبة لانهييار مباني مدينة القاهرة كانت حتى نوفمبر ١٩٥٧ وهى الموضحة فى جدول (٢ / ٤) ، وإن كان الظن أن عدد الانهييارات فى السبعينات والثمانينات يفوق هذه الأرقام بكثير .



شكل (٥/٢) النسبة المئوية لأسباب تصدعات المباني طبقا لسنة الإنشاء
(فى أغلب الحالات يوجد أكثر من سبب للتصدعات)

السنة	١٩٥٢	١٩٥٣	١٩٥٤	١٩٥٥	١٩٥٦	١٩٥٧
عدد الانهيارات	١٤٠	١١٠	١٣٩	١٥٨	١٥١	١٥٨

جدول (٢ / ٤) عدد المباني المنهارة فى مدينة القاهرة

١ / ٣ - عيوب تتعلق بالعناصر الإنشائية للمبنى :

وهى إما تشكّل وترخيم زائد ، وإما تدهور للخرسانة المسلحة للعضو ، فالترخيم الزائد فى الكمرة يؤدى إلى شروخ فى الحوائط ، والانبعاج الكبير فى الأعمدة يسبب تشوها فى الشكل وشروخا فى العامود .

وتدهور الخرسانة فى الأعضاء المختلفة من بلاطات وكمرات وأعمدة وأساسات قد يظهر فى صورة شروخ بأشكالها المختلفة - شكل (٢ / ٦) - وفى صورة تعشيش أو سقوط للغطاء الخرساني ، وقد يحدث تحلل وتفتت للخرسانة السطحية أو تغير فى لونها أو آثار تمليح أو ترهيب أو صدأ لصلب التسليح ، وخاصة فى المنشآت المعرضة لظروف خارجية قاسية - شكل (٢ / ٧) بالملحق الملون .

وستعرض لعيوب الخرسانة بالتفصيل فى الباب الرابع .

٢ - أسباب العيوب بالمنشآت وانهيارها

قد يكون وراء حدوث عيوب بالمنشآت سبب واحد أو عدة أسباب مجتمعة ، من أهمها : عيوب بالتربة أو الأساسات ، أو عيوب فى التصميم ، أو عيوب فى المواد المستخدمة ، أو عيوب فى التنفيذ ، أو قصور فى حماية المنشآت من الظروف المحيطة القاسية ، أو عدم صيانة مناسبة ودورية للمنشأ ، أو تغير استخدام المنشأ دون عمل الاحتياطات اللازمة أو الكوارث غير المتوقعة أو غير المسيطر عليها - شكل (٢ / ٨) .

٢ / ١ - التربة والأساسات :

إن العيوب التى يمكن إرجاعها إلى التربة أو الأساسات قد تكون نتيجة قصور فى الدراسات المناسبة أو الكافية لطبيعة الموقع والظروف المعرضة لها ، وقد ترجع تلك العيوب إلى الاختيار غير المناسب للأساس ، بناء على طبيعة الأحمال المنقولة إليه من المنشأ ، أو بناءً على خواص التربة وتحملها أو منسوب التأسيس غير المناسب لطبيعة تكوين طبقات التربة .

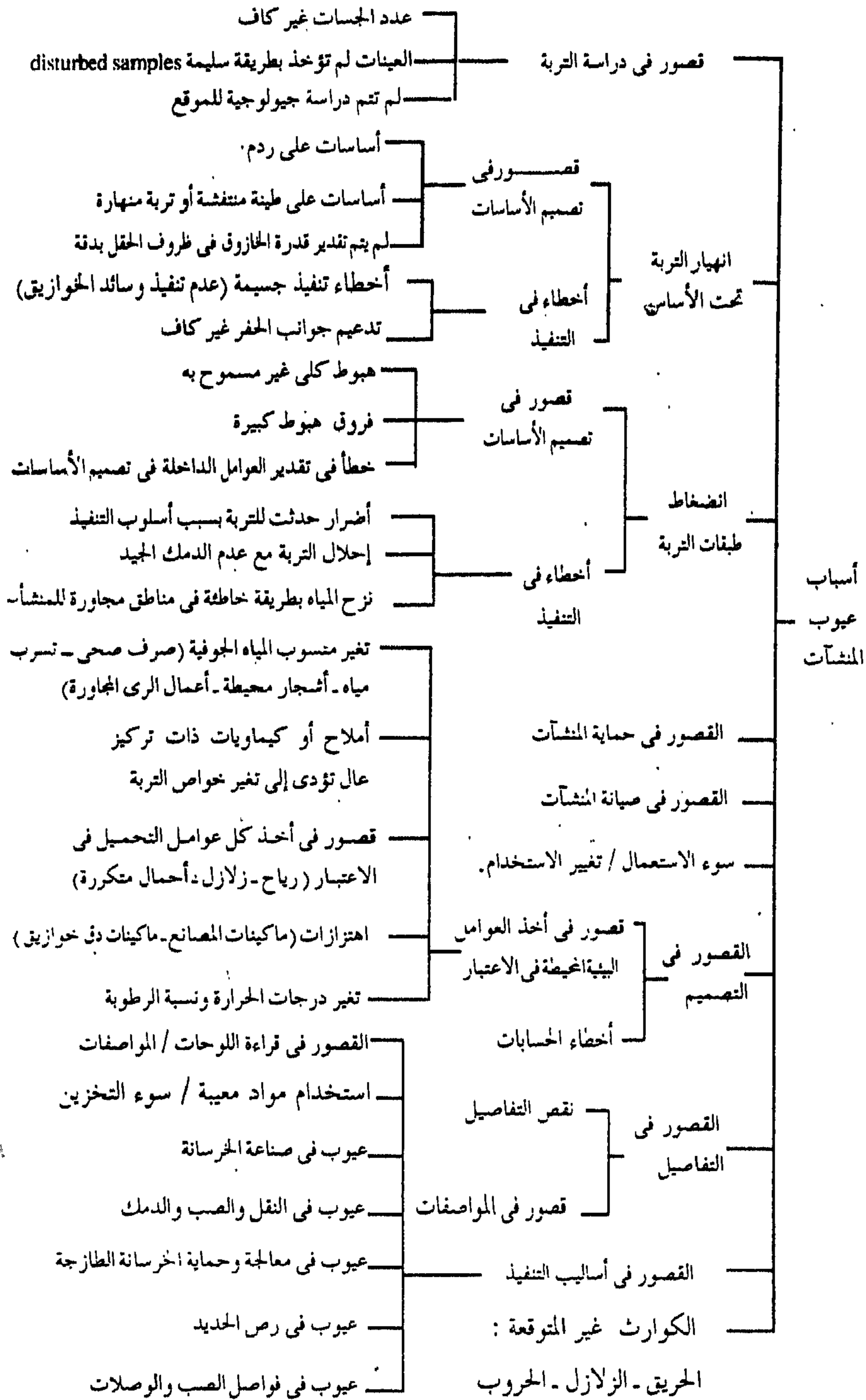
إن العوامل التى تؤدى إلى تحركات التربة تحت وحول الأساس عديدة نذكر منها :

١- انهيار التربة تحت الأساس لتجاوز إجهادات التحميل قدرة تحمل التربة تحت الأساسات .

٢ - انضغاط طبقات التربة تحت تأثير أحمال المبنى ، وتعرض المبنى إلى هبوط كلى أو هبوط متفاوت وتحت أجزائه المختلفة بقيم تزيد عما تسمح به المواصفات ، وتتوقف تلك القيم على نوع المبنى وطبيعة تكوين التربة والظروف المحيطة بالموقع .

٣ - تغير وتذبذب منسوب المياه فى التربة ومحتوى المياه ، نتيجة زيادة المياه الجوفية من أنهار قريبة أو أعمال الري للحدائق ، أو تسرب المياه من شبكات التغذية بالمياه أو الصرف الصحى أو المصارف ، أو الأشجار القريبة من المنشأ ، قد تسبب منفردة أو مجتمعة ظهور عيوب بالمنشآت .

وهذا يرجع إلى أن محتوى المياه بالتربة قد يكون له تأثير كبير على خواصها من حيث القابلية للانضغاط والانتفاخ والتحمل للأحمال .



شكل (٢ / ٨) أسباب عيوب المنشآت

- ٤ - عمليات نزع المياه بطريقة خاطئة دون الأخذ في الاعتبار خلخلة التربة ، وكذلك أعمال الحفر وتدعيم جوانب الحفر وأخطاء التنفيذ ، سواء من حيث مكان القواعد أو منسوب التأسيس .
- ٥ - عمليات إحلال لتربة إذا لم تنفذ بأسلوب ومواد مناسبة تحت الأساسات وتدمك بأسلوب صحيح .
- ٦ - وجود أملاح أو مواد كيميائية ذات تركيز عالٍ قد تؤدي إلى تغير في خواص التربة ، وقد يكون لها تأثير ضار على الأساسات والأجزاء المدفونة من المنشأ بالتربة مثل المبد ورقاب الأعمدة - شكل (٢ / ٩) .
- ٧ - تعرض المنشأ إلى اهتزازات من مؤثرات خارجية ، مثل حركة ماكينات أو من حركة مرور المركبات الثقيلة أو ماكينات دق الخوازيق بالجوار قد تؤدي إلى ظهور عيوب بالمنشآت لو لم تؤخذ في الاعتبار عند التصميم والتنفيذ .
- ونوعيات التربة التي من المحتمل أن تسبب مشاكل للأساسات وكيفية التعرف على هذه النوعيات مبين في جدول (٢ / ٥) .



شكل (٩/٢) أشكال العيوب في اتصال رقبة العמוד مع الأساسات

نوع التربة	المشاكل المحتملة	التعرف عليها
الردم	عادة غير متجانس وتاريخه غير معلوم ، يهبط تحت الحمل وحركة المياه الجوفية ، قد لا يكون خاملا وقد تتولد منه غازات	- يظهر في الجسات - يمكن معرفة وجود الردم من السجلات الخاصة بالأرض - قد يصبح من الضروري عمل تجارب طبيعية وكيميائية خاصة
الرمال السائبة	قابلة للانضغاط تهبط تحت تأثير الاهتزازات وقد يحدث لها حالة سيولة في ظروف خاصة	- عدد الدقات في تجربة الاختراق القياسي أقل من عشرة ولكن حذار من التصنيف الخاطئ من نتائج هذه التجربة - قد يكون من الضروري عمل تجربة المخروط الاستاتيكي
الطينة الحساسة	سهولة إعادة التشكل أثناء التنفيذ - مثل : عند دق الخوازيق أو حركة المعدات . يمكن أن يحدث لها نقص حاد في مقاومة الضغط	قم بقياس الحساسية (Sensitivity) في الحقل أو في المعمل
الطين الصفحي	يلين عند التعرض لتيارات المياه ، أو دورات الليل والجفاف أى أن التربة ستتحرك مع فصول السنة	معامل لدونة عال بسبب تركيز المواد المعدنية بالطين
التربة المنهارة	نقص في المقاومة عندما تتسرب المياه لها أو تتعرض للغمر بالماء ، تيارات المياه تسبب التآكل وحركة الجزئيات	عادة مادة ذات التماس ضعيف وتركيب مفتوحة ووزن نوعي قليل
الطينة المحتوية على فواصل رملية وطفلية	تسمح بانتقال ضغط المياه الداخلية عبر الشقوق الكبيرة مما يسبب انضغاط سريع لطبقات الطينة الملاصقة للشقوق ، قد تحدث شقوق عند ضغط المياه أو الحقن إذا كان الضغط مرتفعا	أخذ عينات باستمرار ضرورى قد يستدعى الأمر استعمال البيزوكون (Piezocone)
الطينة المتبقية residual soils	خط الصخر غير محدد بدقة ومتعرج مما يؤدي إلى مشاكل في تحديد عمق الخوازيق ، ممكن أن تحتوى على فجوات في الأرض وخاصة في الصخور الجيرية	معرفة تفصيلية بالتاريخ الجيولوجى للمنطقة وتحديد قطاع التربة بدقة من عدد كاف من الجسات
التربة القابلة للذوبان	دخول المياه قد يؤدي إلى إزالة الأملاح مما يسبب هبوطا انهياريا	مناطق « القباب المحلية » فى العالم - معرفة كافية بجيولوجيا المنطقة

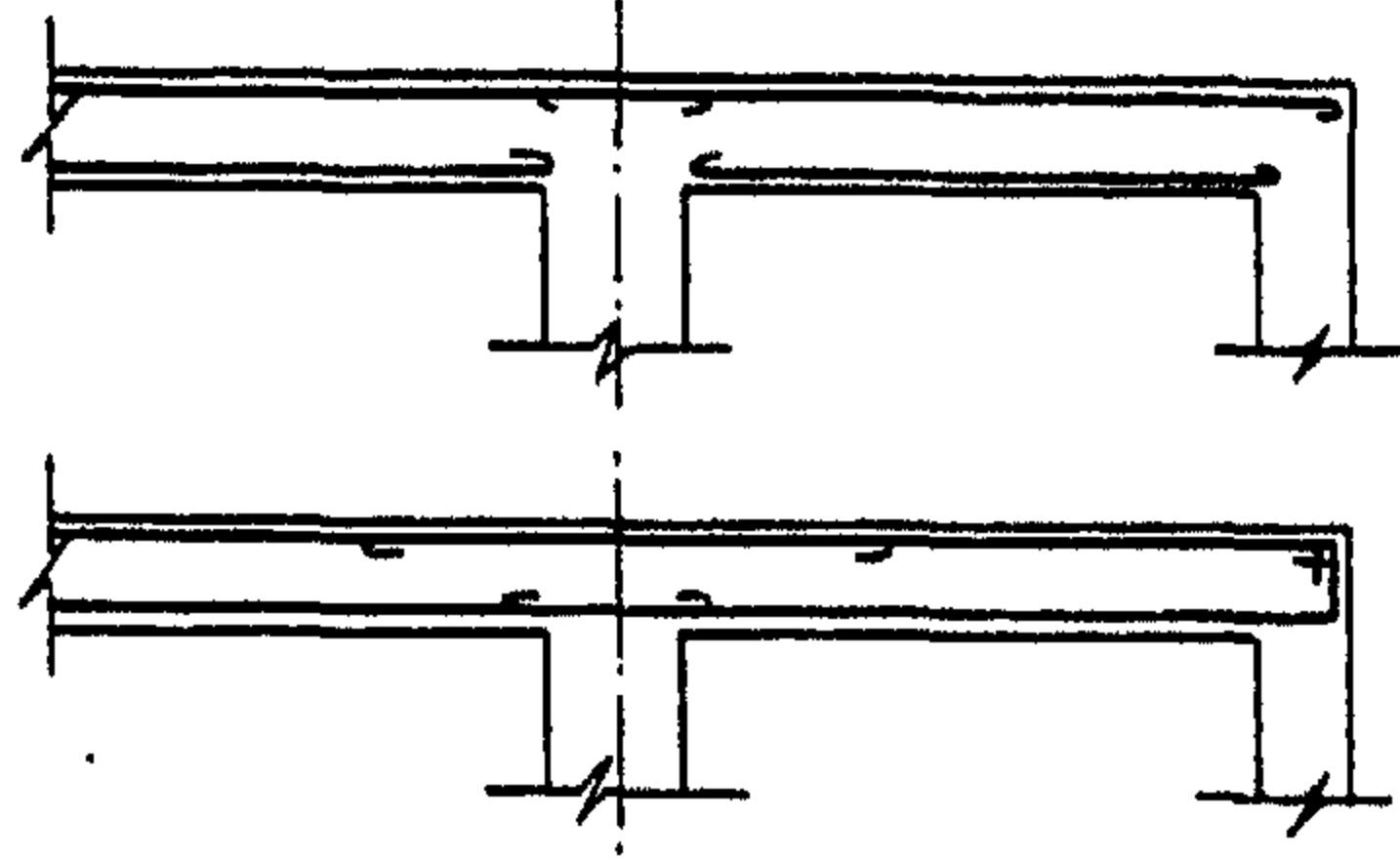
جدول (٢ / ٥) حالات التربة التى يحتمل أن تسبب مشاكل بالأساسات

٢ / ٢ - قصور التصميم أو التفاصيل :

إن القصور في التصميم قد يرجع إما إلى أخطاء في الحسابات سواء بالنسبة للأحمال أو النظام الإنشائي ، أو عدم صحة الافتراضات التي بنى على أساسها التصميم ، أو عدم أخذ كل الظروف البيئية المحيطة في الاعتبار ، مثل المواد ذات التأثير الضار بالخرسانة أو الرطوبة أو الأبخرة الضارة ، وقد يرجع إلى أن مقاومة المواد المستخدمة أو الأعضاء الخرسانية أقل من الإجهادات الواقعة عليها ، أو إلى مشاكل الدعامات ، أو إلى نقل الإجهادات المفاجئة من قطاع لآخر بدون وجود تجهيزات ملائمة .

وقد يكون وراء العيوب في المنشآت القصور في التفاصيل الإنشائية والتي قد لا يبينها المصمم بأسلوب واضح على اللوحات الإنشائية ، من حيث توزيع التسليح وأشكال الأسياخ والوصلات وأطوالها وأماكنها وتسليح الأركان وأماكن نهايات الأسياخ وامتدادها من عنصر لآخر - شكل (٢ / ١٠) - وتحديد الغطاء الخرساني المناسب لكل عضو حسب الظروف المحيطة التي سيتعرض لها المنشأ ، كما قد يكون وراء ظهور العيوب الإنشائية عدم قيام المصمم بتحديد أماكن وأسلوب عمل وصلات الحركة أو وصلات الهبوط ، وقد تكون عدم كفاية المواصفات أو عدم انطباقها على الحالة في الطبيعة هي سبب العيوب .

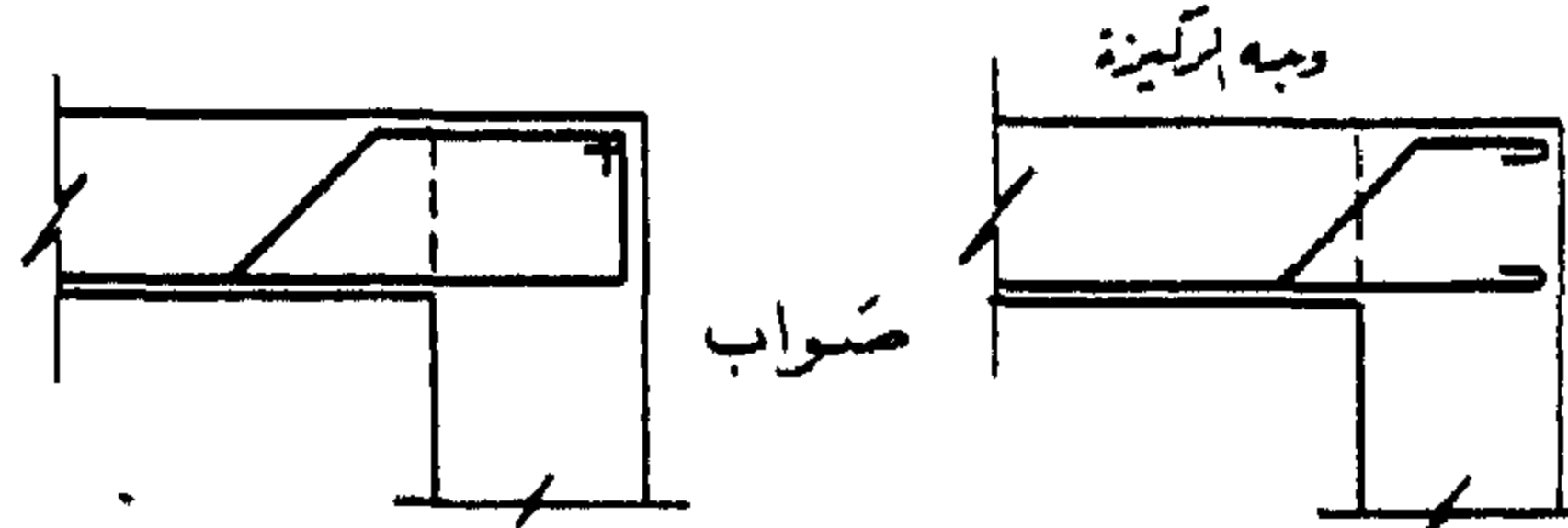
ويبين جدول (٢ / ٦) مجالات قصور التصميم والتفاصيل وكيفية التعرف على الأخطاء التي تنجم عنها ، وسنتناول قصور التصميم والتفاصيل بإسهاب أكثر في قسم (٢ / ٤) من الباب الرابع .



خطأ

صواب

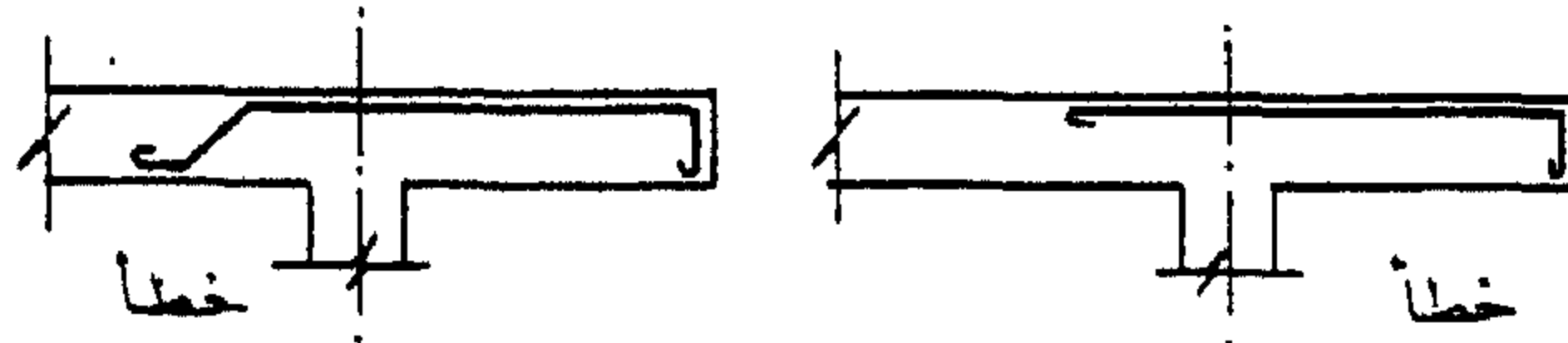
نهايات صلب التسليح عند ركيزة مستمرة وركيزة نهائية



خطأ

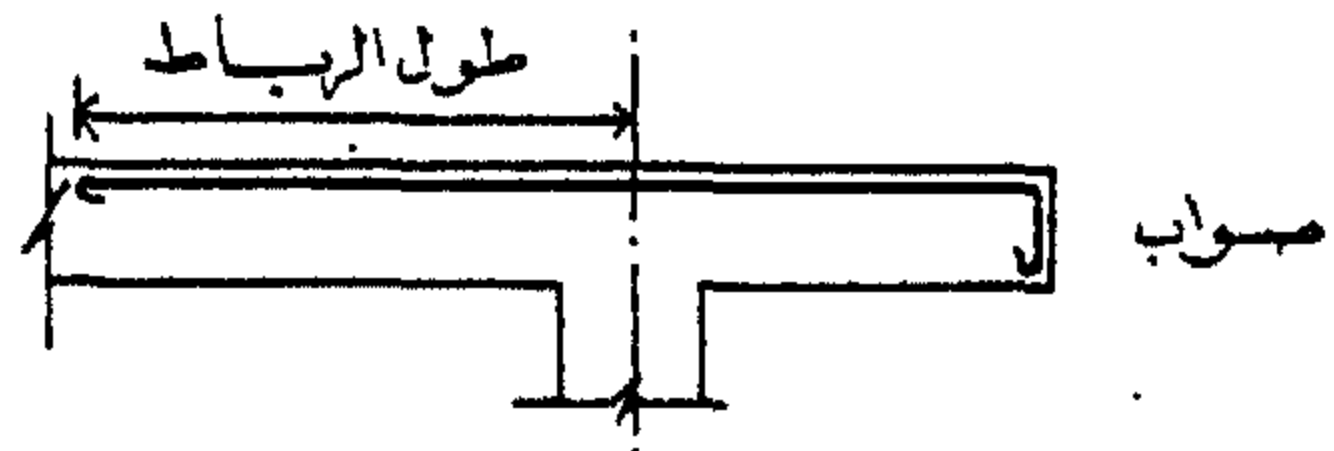
صواب

تكسيح أسياخ التسليح عند ركيزة نهائية



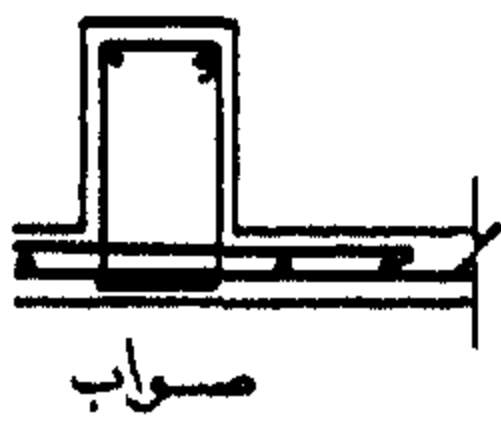
خطأ

خطأ

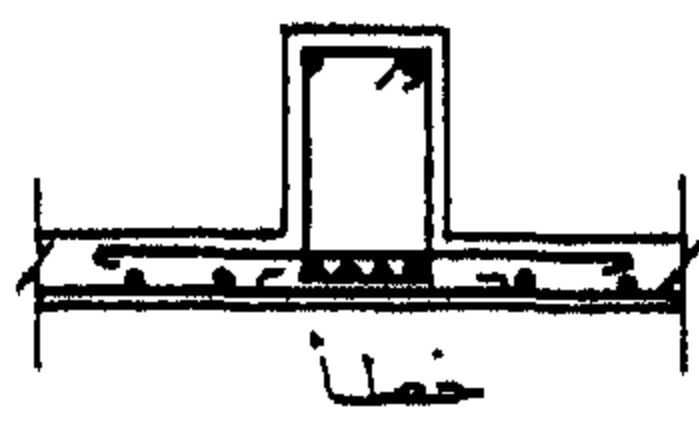


صواب

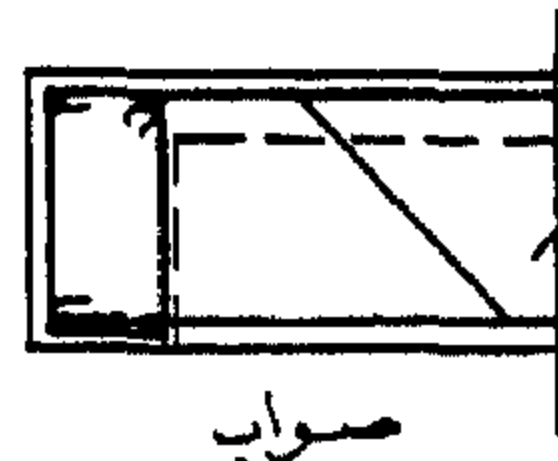
شكل صلب التسليح الرئيسي بالكابولي



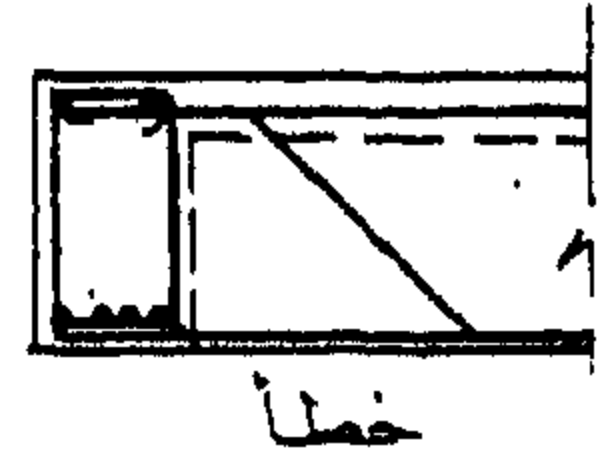
صواب



خطأ



صواب



خطأ

علاقة قسليج بلاطة مع قسليج ككرة مقلوب

علاقة قسليج ككرة ثانوية مع ككرة رئيسية

شكل (٢ / ١٠) أخطاء التفاصيل الشائعة

فيمكن مقارنة مظاهر التصدع - أو نوع الانهيار - بما أظهرته الحسابات لتحديد سبب التصدع - أو الانهيار - وهل هو بسبب زيادة الأحمال فقط أم له أسباب أخرى .

الحالة	المجال	الأخطاء التي يمكن أن تحدث	التعرف عليها
القصور في التصميم	الحسابات	أخطاء في التحليل الإنشائي عدم كتابة القطاعات	مراجعة النوتة الحسابية مراجعة اللوحات مع النوتة
	الأحمال	عدم أخذ كل حالات التحميل في الاعتبار (رياح - زلازل - أحمال متكررة)	مراجعة حالات التحميل
	الظروف المحيطة	عدم أخذ كل الظروف المحيطة في الاعتبار	مراجعة حالات الحدود
	الافتراضات	أخطاء في افتراض الأحمال أو حركة الأوزان	مراجعة الأوزان والأحمال حسب طبيعة المنشأ
	المواد / الأعضاء	أخطاء في تقدير مقاومة المواد والأعضاء للإجهادات المختلفة	مراجعة ملاحظات اللوحات
	الدعامات	عدم أخذ تأثير الحركة نتيجة الاحتكاك عند الركائز المتحركة	تفاصيل الدعامات
	التمدد / الانكماش	عدم وجود وصلات كافية	مراجعة لوحات الوصلات
القصور في التفاصيل	الغطاء الخرساني	عدم تحديد الغطاء الخرساني المناسب للظروف التي سيتعرض لها المنشأ	لوحات التفاصيل
	أطوال التماسك	عدم تحديد أطوال التماسك المناسبة للأسياخ وخاصة في نهايات الكمرات	لوحات البلاطات والكمرات
	الوصلات	عدم تحديد أماكن وصلات الصب والتمدد أو عيوب في تفاصيلها	هل الوصلات تسمح بحركة ؟
	القطاعات	تكدر الحديد مما يسبب التعشيش أو استعمال أقطار كبيرة مع أقطار صغيرة	قطاعات الأعمدة والكمرات والحوائط
	المواصفات	عدم كفاية المواصفات أو عدم انطباقها على الحالة في الطبيعة	مراجعة المواصفات

جدول (٢ / ٦) مجالات قصور التصميم والتفاصيل والأخطاء التي تحدث منها

٢ / ٣ - المواد المعيبة :

إن مواد البناء المعيبة هي المواد التي لا تفي في خواصها بمتطلبات المواصفات القياسية ، وهي أحد الأسباب الهامة وراء ظهور العيوب بالمنشآت ، كما أن القصور في تصميم الخلطة الخرسانية بحيث لا تفي بالخواص المطلوبة لها في الحالة الطازجة وبعد التصلد من مقاومة وخواص طبيعية وقوة تحمل تحت ظروف التشغيل قد يؤدي إلى ظهور عيوب عديدة بالمنشآت ، كما قد يكون وراء ظهور عيوب في المنشأ استخدام إضافات للخرسانة غير مناسبة أو بكميات غير مناسبة ، أو أن تكون الإضافات غير مطابقة للمواصفات .

٢ / ٤ - القصور في أساليب التنفيذ :

١ - من أهم الأسباب وراء ظهور العيوب في المنشآت والانهيار الكامل في بعض الأحيان هو سوء التنفيذ والذي يشمل التخزين غير المناسب للمواد ، سواء الأسمنت أو الركام أو صلب التسليح أو الإضافات أو المواد الأخرى ، كما أن القصور في التنفيذ قد يكون وراءه عدم التنفيذ بالشروط المذكورة في كودات الممارسة ، من معايرة صحيحة للمواد أو الخلط أو النقل أو الصب أو الدمك أو المعالجة ونحو السطح والترميمات اللازمة بعد فك الشدات في حالة ظهور عيوب كتعشيشات في الخرسانة أو الغطاء الخرساني وغيرها .

٢ - كما أن من الأخطاء الشائعة والتي تؤدي إلى ضعف في مقاومة الخرسانة وإلى المسامية الكبيرة وما يتبعها من أضرار هو إضافة ماء زائد عن متطلبات الخلطة الخرسانية ، سواء أثناء الخلط أو أثناء الصب شكل (٢ / ١١) بالملحق الملون .

٣ - كما قد يكون وراء ظهور عيوب في المنشآت عيوب في الشدات والفرم من حيث اتزانها وقوتها وأبعادها ومدى عدم نفاذيتها لعجينة الأسمنت (اللباني) .

٤ - كما أن الإزالة المبكرة للفرم والشدات قبل وصول الخرسانة إلى المقاومة المناسبة لتحمل الأحمال المعرضة لها ، يؤدي بالقطع إلى عيوب بالمنشآت .

٥ - مما لا شك فيه أن الأخطاء في التسليح من حيث أنواع أو أقطار الصلب أو وضعه في المكان المحدد وعلى المسافات المبينة باللوحات ، وبالتشكيل والأطوال والامتداد المناسب مع التثبيت الجيد للأسياخ الطولية أو المكسحة أو الكانات بالأعضاء الخرسانية قد يؤدي إلى الانهيار الكامل .

٦ - هناك أخطاء بسبب عيب شائع وهو هز الأسياخ الطولية بشدة أثناء الصب بالأعمدة ، مما يؤدي إلى سقوط الكانات وتراكمها في أسفل العمود أو تزايد المسافات بينها مما يؤثر على كفاءة العمود وظهور عيوب إنشائية به - شكل (٤ / ٦٠) بالباب الرابع .

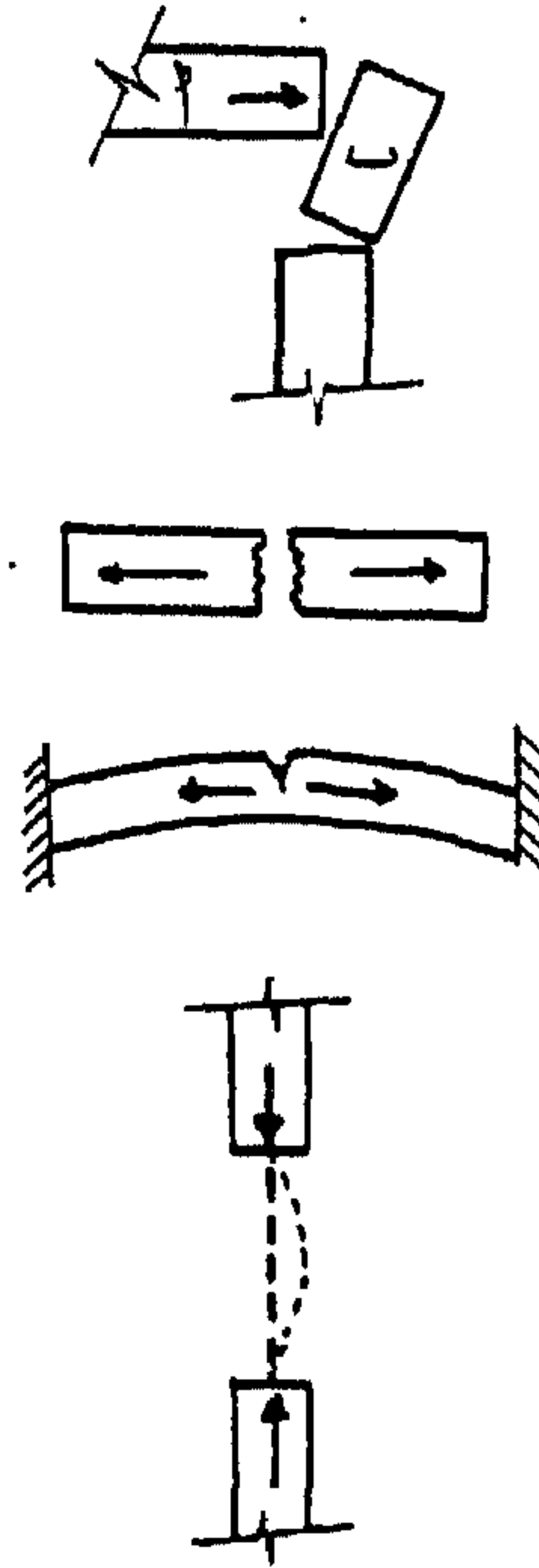
٧ - إن استخدام صلب التسليح الذى تعرض إلى العوامل الجوية مما سبب له صدأ دون تنظيفه قبل صب الخرسانة ودون التأكد من أنه يفي بمتطلبات المواصفات القياسية ، قد يؤدي إلى زيادة فى الصدأ بدرجات قد تعمل تحت ظروف التشغيل فى الأجواء الرطبة أو المعرضة إلى تيار كهربائى أو كيماويات إلى نقص حاد فى مقطع صلب التسليح ، كما أن تنظيف الصلب من الزيوت والشحوم والطين أو أى ملوثات خارجية قبل استخدامه يكون له أهمية كبرى لتلافي ظهور عيوب بالمنشآت - شكل (٢ / ١١) بالملحق الملون .

٢ / ٥ - عدم أخذ تأثير الحركة فى الاعتبار :

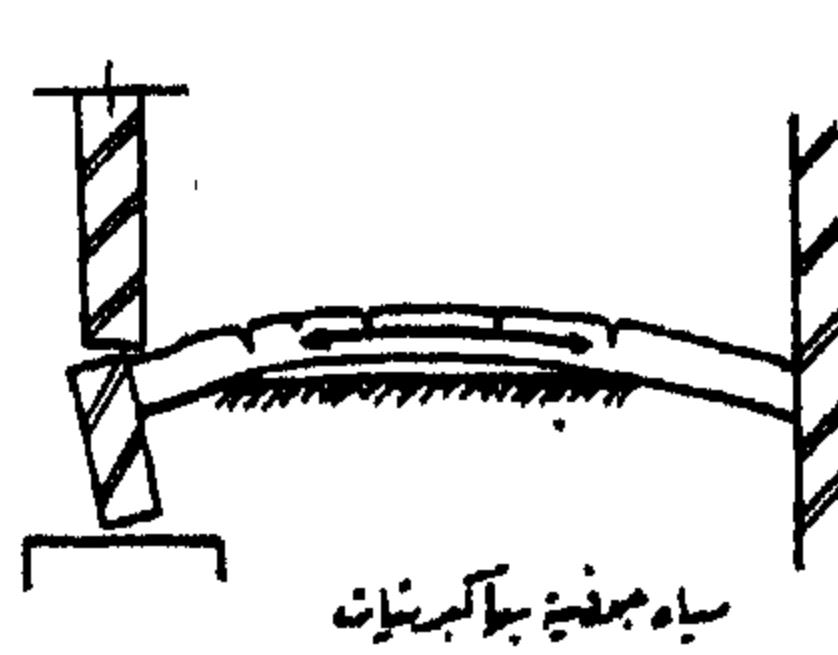
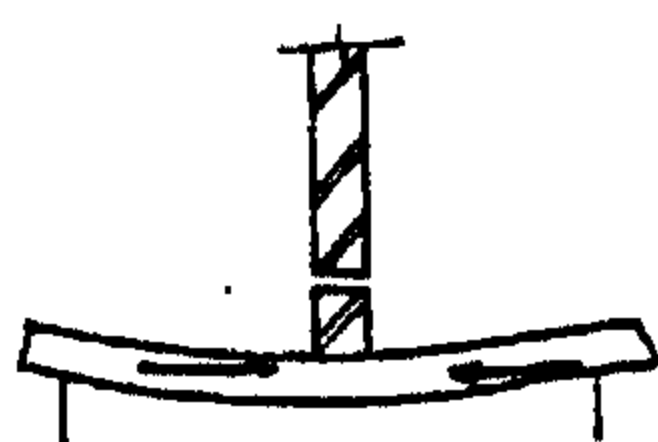
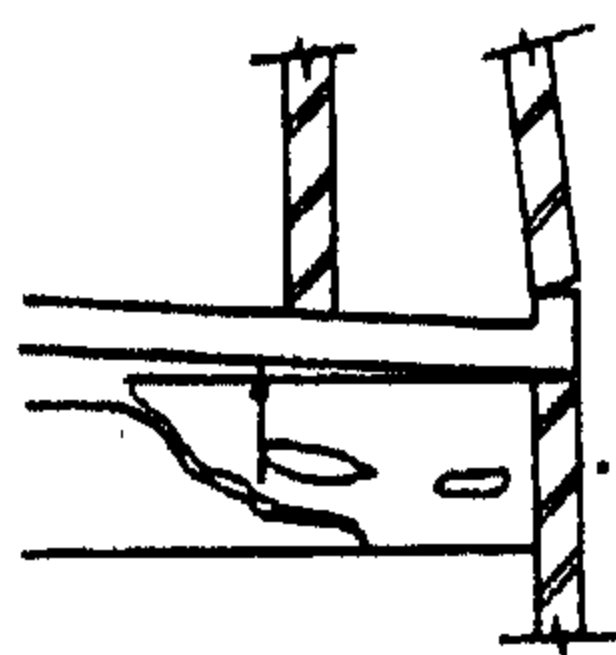
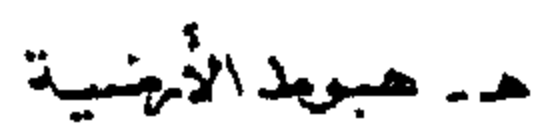
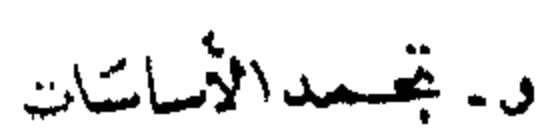
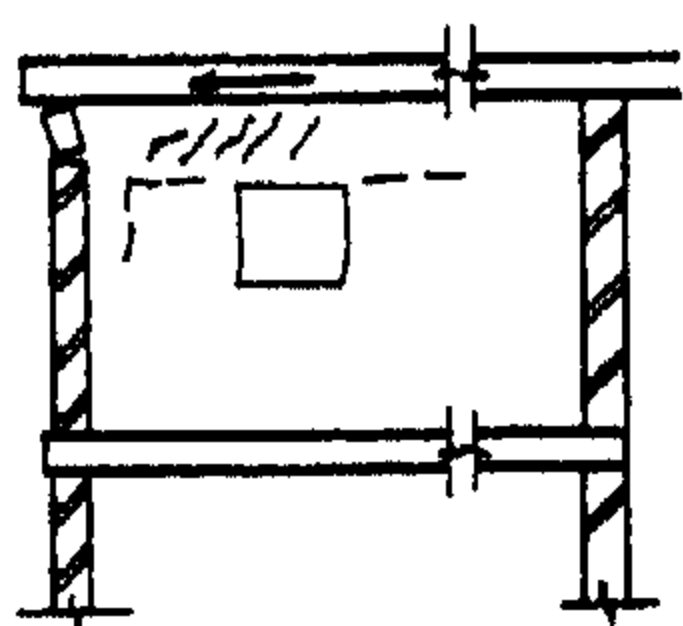
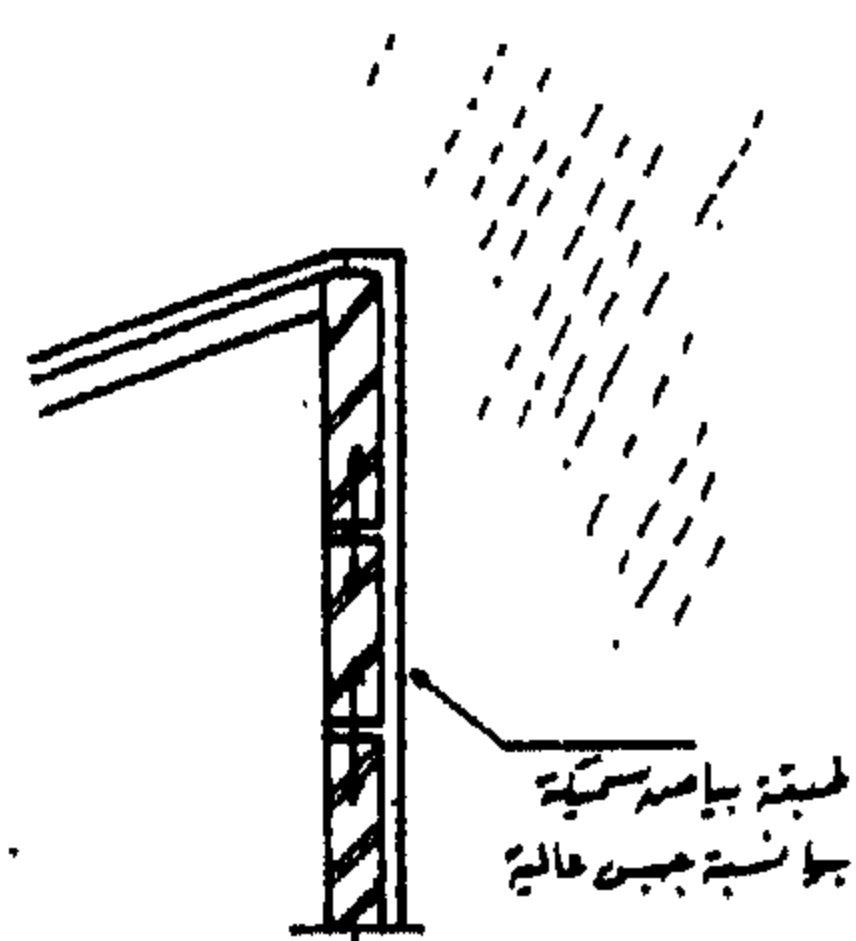
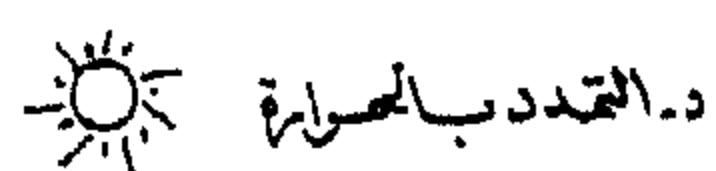
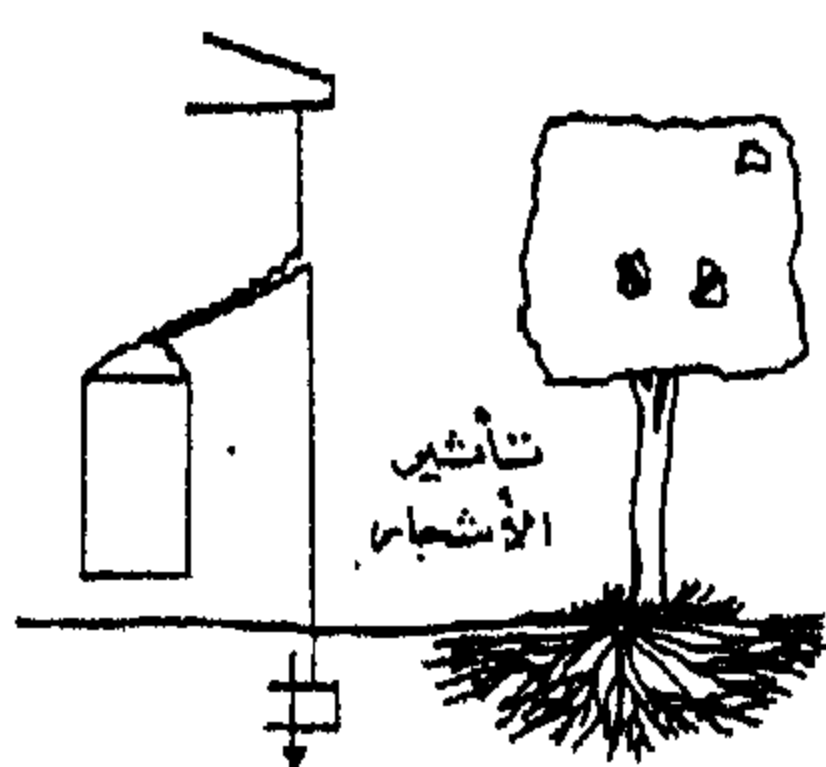
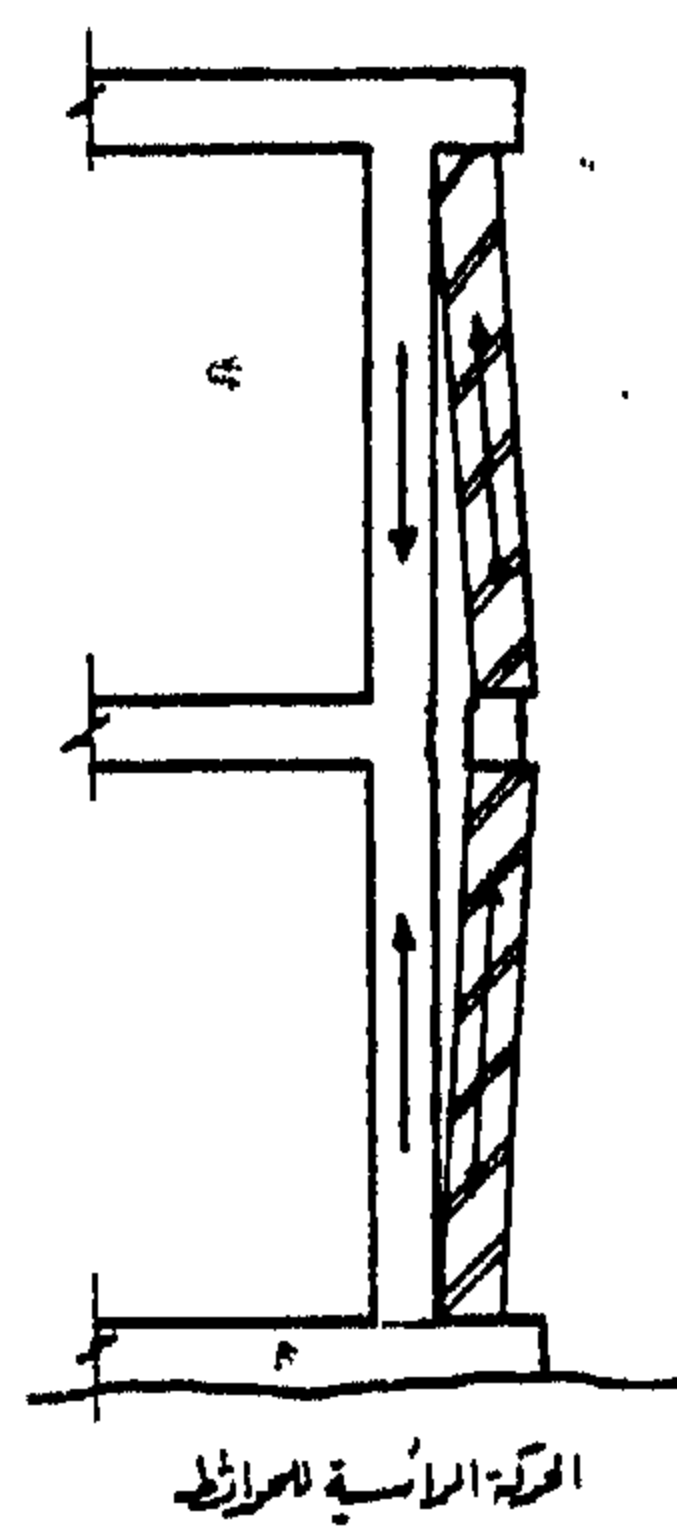
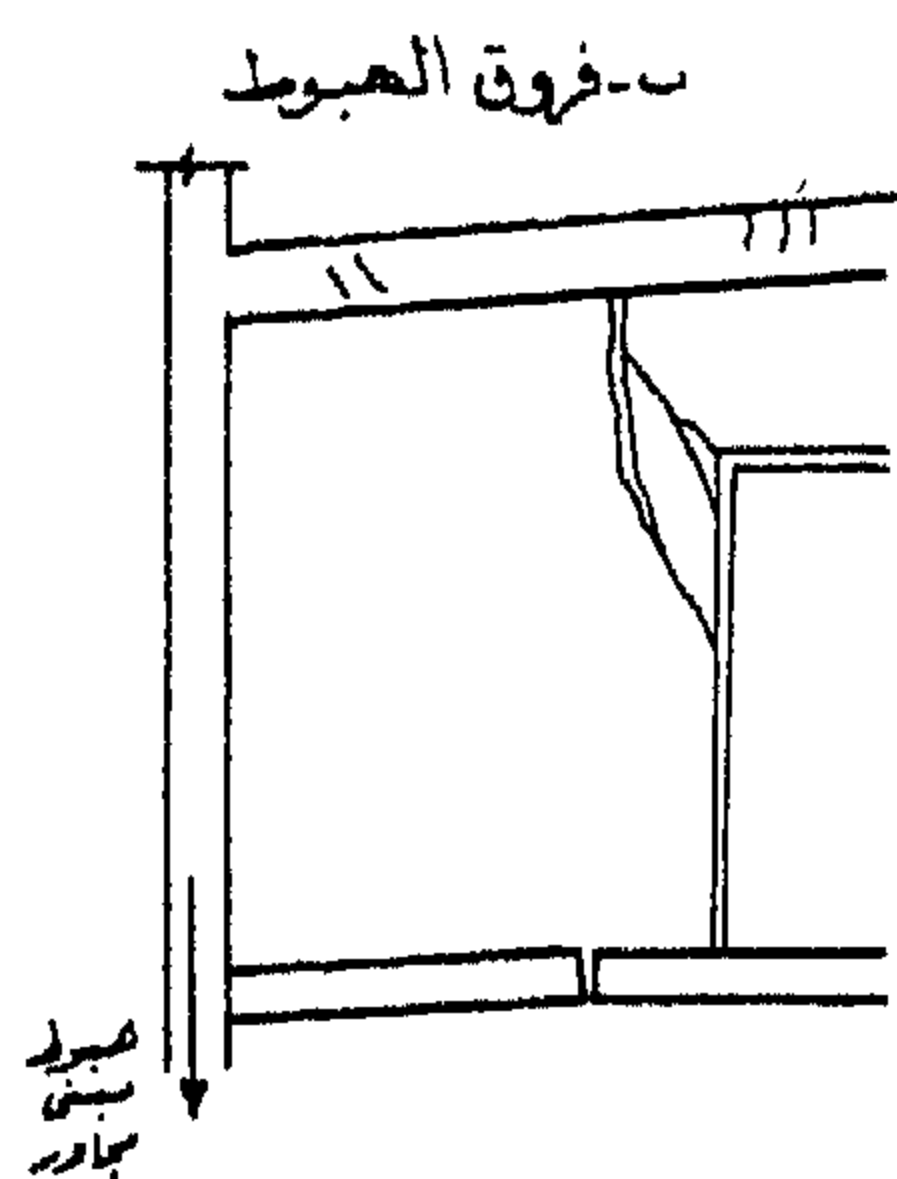
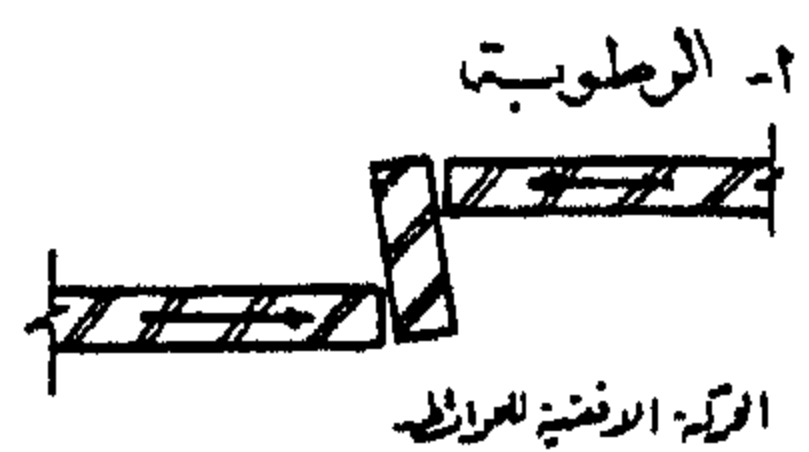
إن الأسباب الرئيسية لحدوث الحركة فى المنشآت المسببة للترشيح ملخصة فى جدول (٢ / ٧) ، وتحدث الشروخ نتيجة الحركة بين الأعضاء أو فى داخل العضو نفسه ودورات التمدد والانكماش الحرارى ، مثال على الحالة الأولى : شكل (٢ / ١٢) ، حيث تدفع حركة العضو (أ) العضو (ب) حتى تحدث به شروخ بدون حدوث انهيار لأيهما .

ويمكن تقليل الشروخ - وتفاديها كلية فى بعض الأحوال - بأخذ حركة أعضاء المبنى فى الاعتبار أثناء التصميم .

وهناك أمثلة عديدة على أنواع الشروخ نتيجة الحركة موضح بعضها فى شكل (٢ / ١٣) .



شكل (٢ / ١٢) الحركة بين الأعضاء



شكل (٢ / ١٣) أمثلة على الشروخ نتيجة الحركة

السبب	تأثيره	مدة التأثير	المواد المتأثرة
١- اختلاف درجات الحرارة	التمدد والانكماش	يومي / موسمي	كل المواد
٢- تغير محتوى الرطوبة أ - الجفاف ب - البلل ج - دورات البلل والجفاف	الانكماش التمدد التمدد والتقلص	لفترة قصيرة - نتيجة فقد الرطوبة لفترة قصيرة - نتيجة امتصاص رطوبة موسمي	الخرسانة والمونة والطوب الجيري والسيراميك والخشب غير المعالج
٣- أسباب طبيعية أخرى أ - فقد المواد القابلة للتطاير ب - التجمد	تقلص تمدد (للمواد البناء)	لفترة قصيرة أو لفترة طويلة موسمي (في الشتاء)	المواد اللدنة مواد البناء المسامية (الحجر، الطوب، الخرسانة) والتربة
٤- الأحمال أ - على المنشأ (الأحمال الزائدة) ب - على الأرض	ترخيم أو تشكل زائد هبوط	— —	— الطينة والطفلة النيشة
٥ - حركة التربة أ - فروق الهبوط ب - هروب التربة وتهيلها ج - انتفاخ	هبوط هبوط انتفاخ	دائم أو وقتي دائم أو وقتي عند تعرض التربة للبلل	— — الباجة (التربة القابلة للانتفاخ)
٦- التغيرات الكيميائية أ - الصدأ ب - هجوم الكبريتات ج - التحول الكربوني	تمدد تمدد انكماش	دائم دائم دائم	المعادن الأسمنت والخرسانة والمونة الخرسانة الخفيفة والطوب الخفيف

جدول (٢ / ٧) الأسباب الرئيسية للحركة في المنشآت

٢ / ٦ - حماية غير كافية للمنشآت :

إن غياب الحماية أو الحماية غير المناسبة للمنشآت بعناصرها المختلفة من أساسات وميد وأعمدة وكمرات وأسقف وحوائط وغيرها ، والمعرضة للظروف المحيطة القاسية مثل الأجواء الساحلية أو القارية أو المتغيرة غير الثابتة أو المشبعة بالأبخرة الكيماوية أو الأملاح ، تؤدي إلى تدهور عناصر المنشآت وتغير لونها والصدأ والتشريح وقد تؤدي إلى الانهيار في النهاية ، ومن ضمن المنشآت المعرضة لمثل هذه الظروف القاسية على سبيل المثال لا الحصر : المنشآت الساحلية والأساسات الخازوقية ومصانع الكيماويات والصباغة والحلويات والورق ومحطات القطارات والأنفاق تحت الأرض ودورات المياه ومراكز الغسيل وحمامات السباحة المغطاة .

كما أن الحماية ضد الحرائق الناتجة من عيوب بالتوصيلات الكهربائية أو توصيلات الغاز أو المواد القابلة للاشتعال سواء الداخلة في العناصر الإنشائية للمبنى أو في التغطيات أو الأثاث المستخدم ، قد تمنع حدوث العيوب والانهيارات نتيجة هذه الحرائق ، والتي يمكن التغلب عليها في حالة حدوثها بنظام إنذار مناسب وأسلوب مدروس للمقاومة .

٢ / ٧ - عدم صيانة المنشآت :

إن الصيانة الدورية للمنشآت تمثل عنصراً هاماً وراء التغلب على المسببات التي قد تؤدي إلى ظهور العيوب بالمنشآت ، وهذه الصيانة تعمل على سلامة العناصر والوصلات وأعمال صرف مياه الأمطار ونظام التغذية بالمياه وشبكة الصرف الصحي والتوصيلات الكهربائية والغاز ، كما أن عدم صيانة أجهزة التبريد والتسخين وما قد يتسرب منها من سوائل وكذلك قربها وبعدها من العناصر الإنشائية تمثل عنصراً هاماً وراء حدوث عيوب إنشائية .

ويبين شكل (٢ / ١٤) بالملحق الملون أمثلة على قصور صيانة وحماية المنشآت ، وفي الباب السابع تفصيل لأساليب الصيانة والحماية المطلوبة .

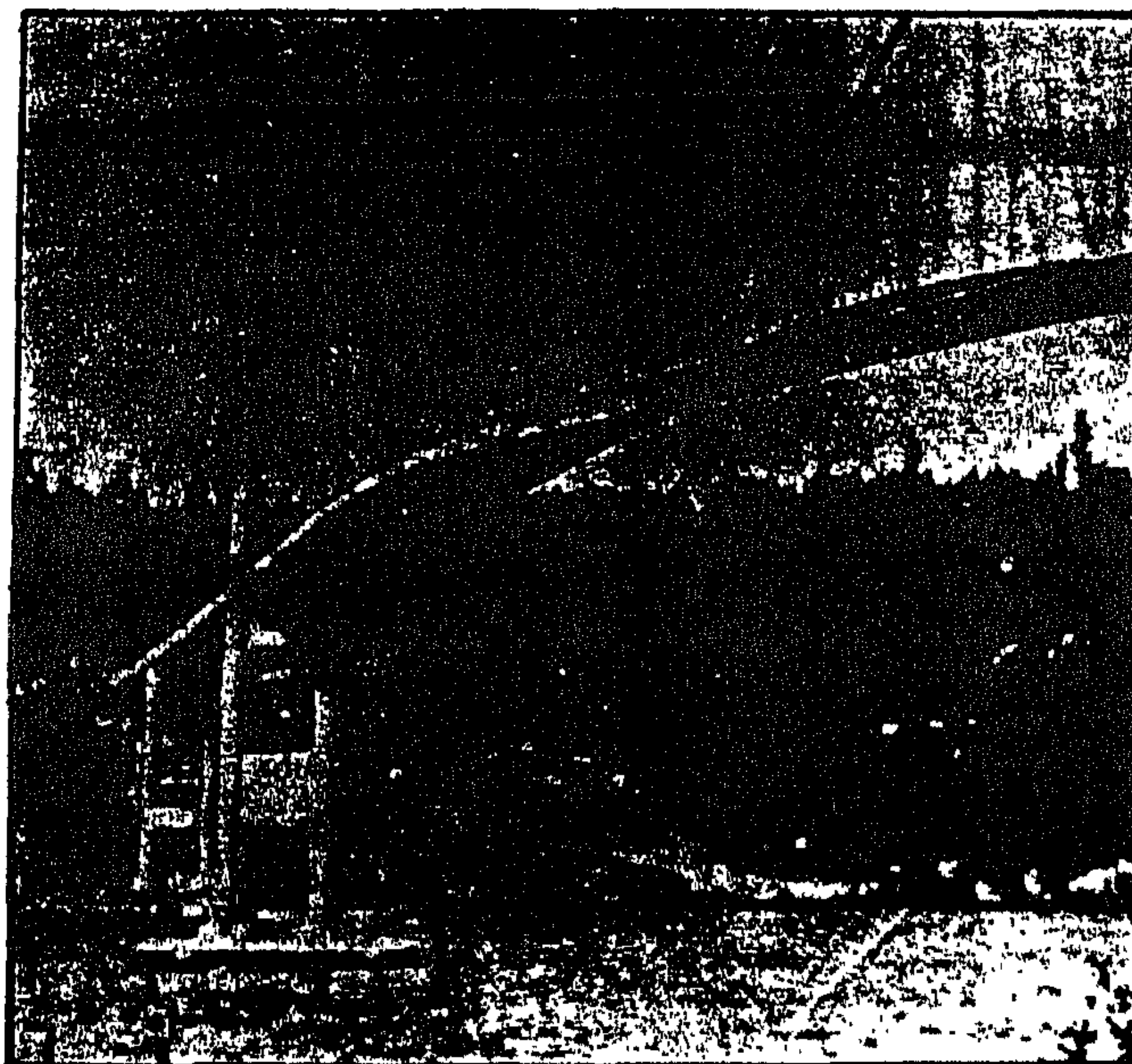
٢ / ٨ - تغيير استخدام المنشآت :

إن تغيير استخدام المنشآت عما صمم عليه وما يتبعه من أحمال أو ظروف تشغيل لم تؤخذ في الاعتبار عند التصميم ، قد تؤدي إلى ظهور عيوب أو انهيارات ، ومن أمثلة تغيير

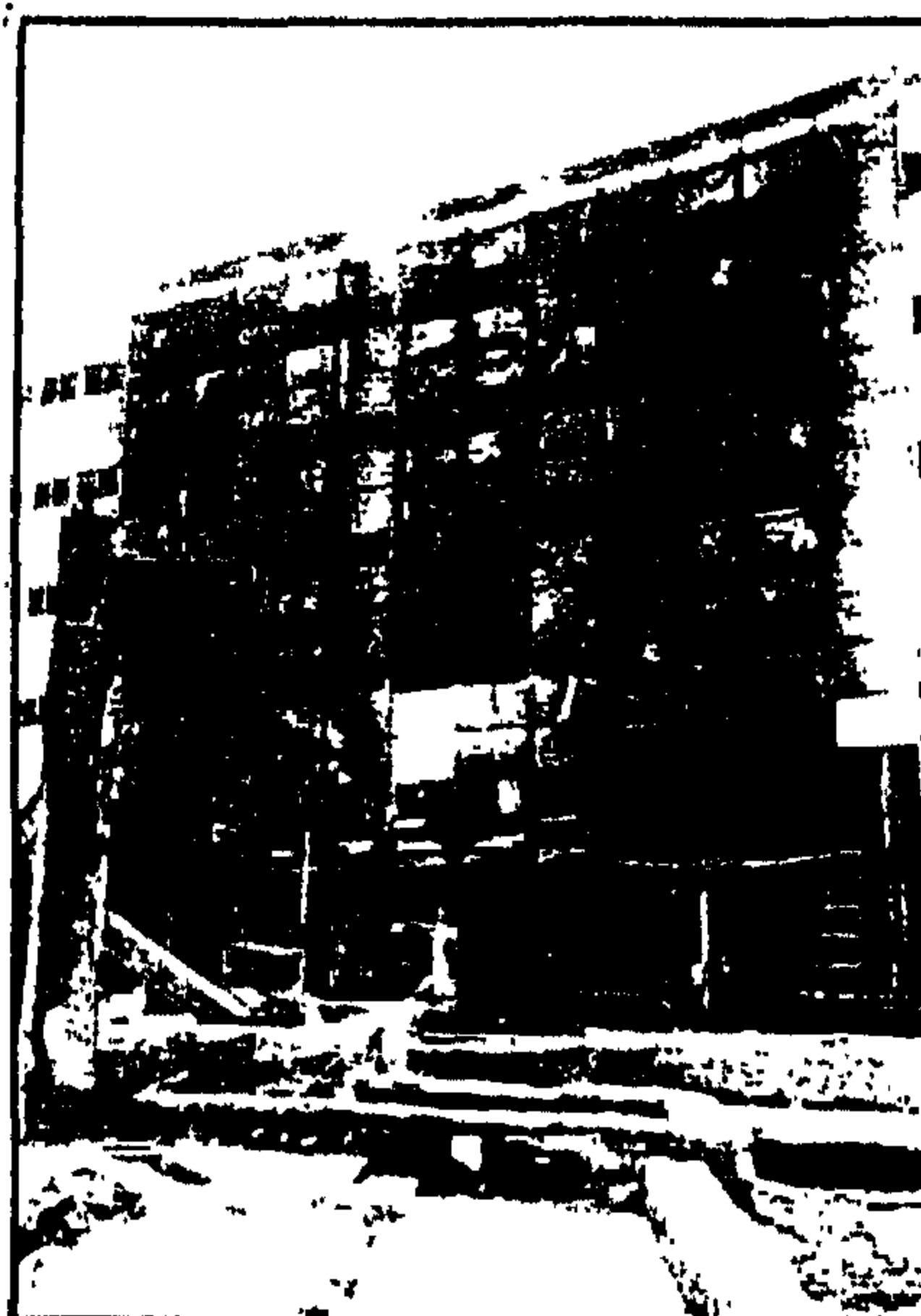
استخدام المنشآت : استخدام المباني السكنية كمخازن أو مكاتب أو مصانع أو ورش أو مدارس ، أو تغيير نوع المعدات من حيث الأوزان الثقيلة أو الاهتزازات الناتجة أو الأحجام أو الأبعاد والتي لم تؤخذ في الاعتبار عند التصميم ، وعليه فيجب عمل مراجعة إنشائية لتحديد الكفاءة الإنشائية للمبنى تحت ظروف التشغيل الجديدة قبل تغيير الاستخدام وإلا فقد تحدث العيوب بالمنشأ قد تصل إلى الانهيار الكامل .

٢ / ٩ - الكوارث الطبيعية :

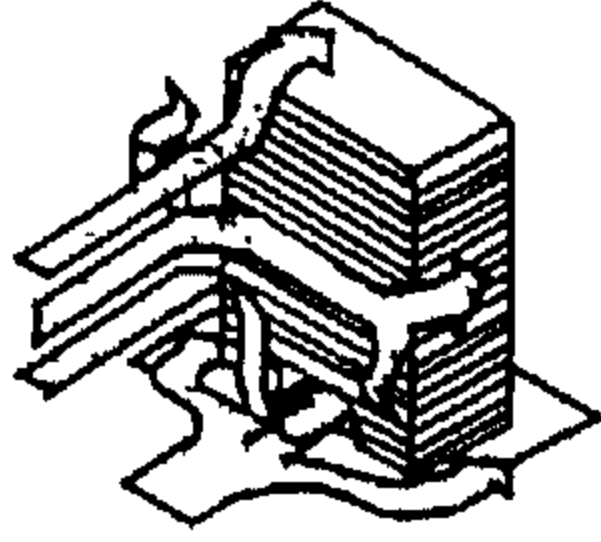
هناك كوارث يجب توقعها مثل وجود المنشأ في منطقة زلازل أو احتمالات نشوب حريق نظرا لطبيعة المنشأ أو الأعاصير ، وقد تسببت الأعاصير في حدوث تشكل زائد لجسر معلق مما أدى إلى انهياره - شكل (٢ / ١٥) - وتم تعديل مواصفات التصميم لأخذ مثل هذ الكوارث في الاعتبار ، وحمل الرياح الشديدة يختلف تأثيره على المباني باختلاف ارتفاع المباني المجاورة وباختلاف شكل المبنى - كما يظهر في شكل (٢ / ١٦) - ومن التبسيط غير الدقيق أخذ حمل الرياح على أساس ضغط عرضي منتظم فقط ، ولا بد من تصميم المبنى ليتحمل حريقا لعدة ساعات بدون أن ينهار - شكل (٢ / ١٧) .



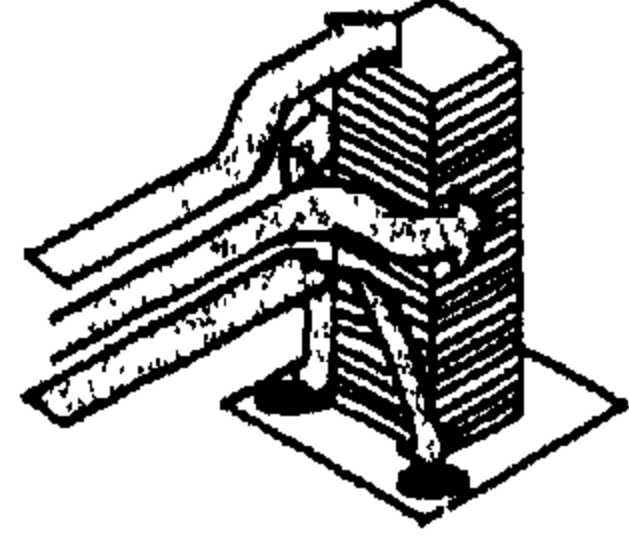
شكل (١٥ / ٢) تشكّل زائد في جسر معلق نتيجة أعاصير أدت إلى انهياره



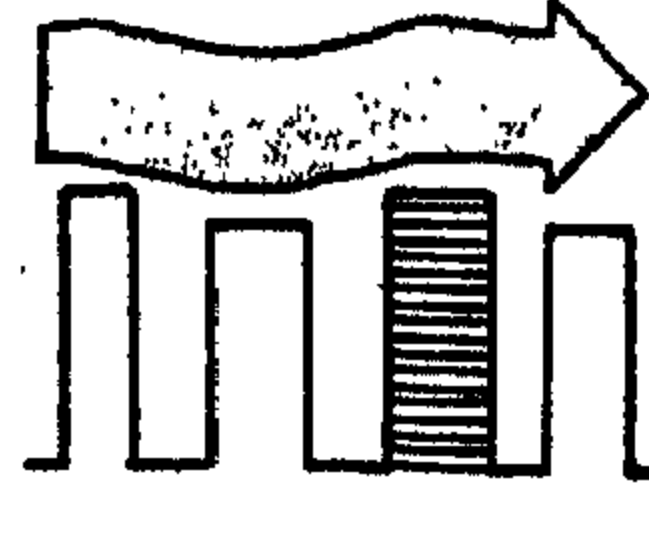
شكل (١٧ / ٢) حريق بفندق كبير بالقاهرة



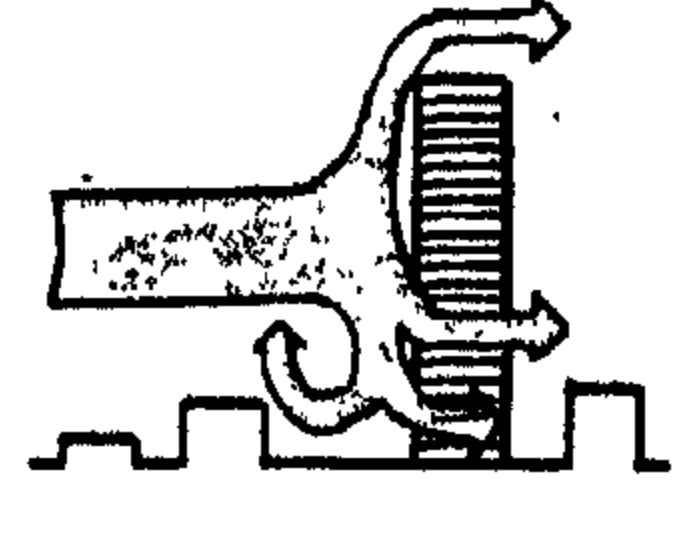
الفتحات في المبنى عند ليدروم
ممكنه أنه تؤدي إلى سرعة
هواء



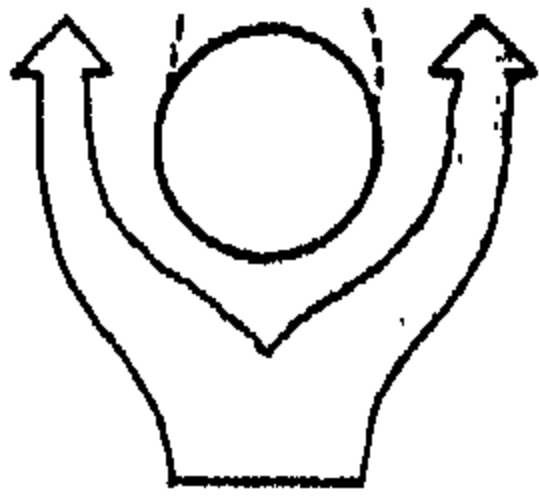
في المبنى المرتفع تأثير
الرياح يتركز على القواعد



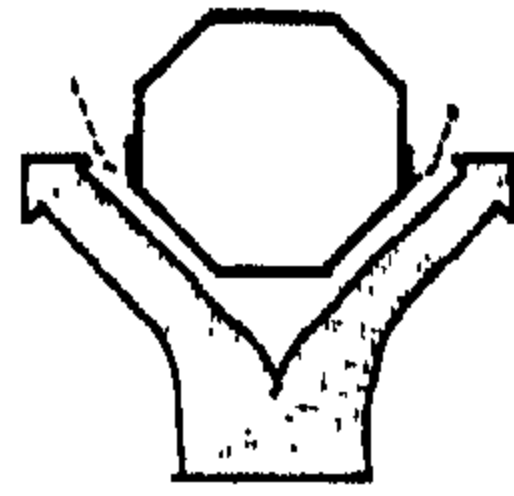
مبنى سماوي في الارتفاع للميل
المجاورة ممكنه أنه يكون محمياً
من أحوال كبيرة نتيجة لرياح



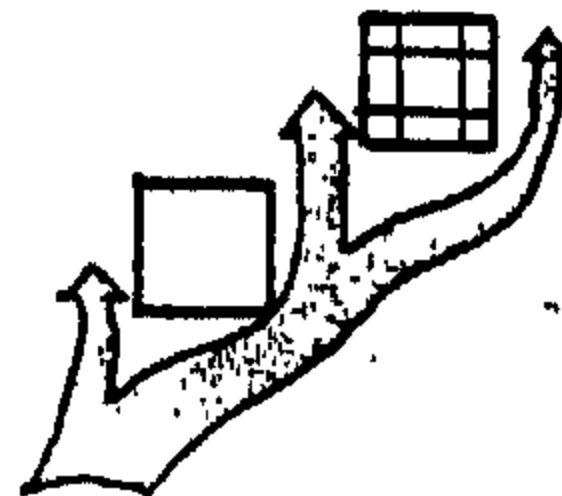
مبنى مرتفع جداً عند المباني
المحيطة يمكنه أنه يتعرض
لأحوال عالية نتيجة لرياح



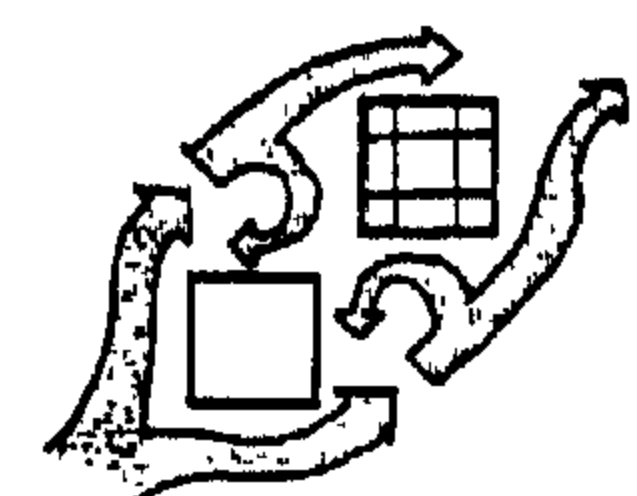
في المباني لارتفاعه ممكنه أنه تقل
الأحوال على الإطارات ولكن تزيد
قوى السحب على الجوانب الخارجية عند
نقاط انفصال الرياح عن المبنى



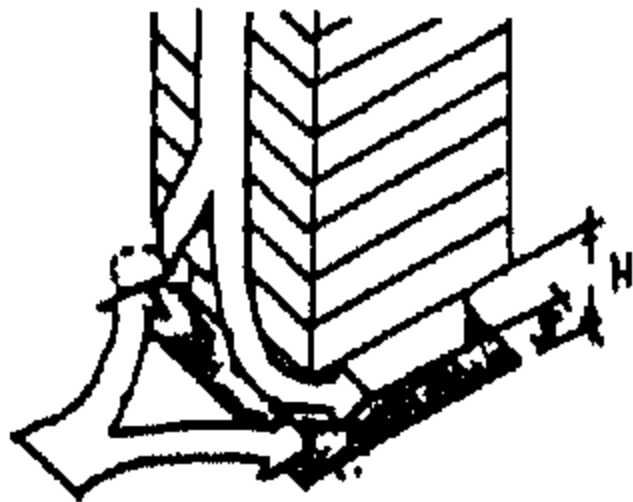
المباني متعددة الأضلاع
تقلل من تأثير الرياح على
إطارات المبنى



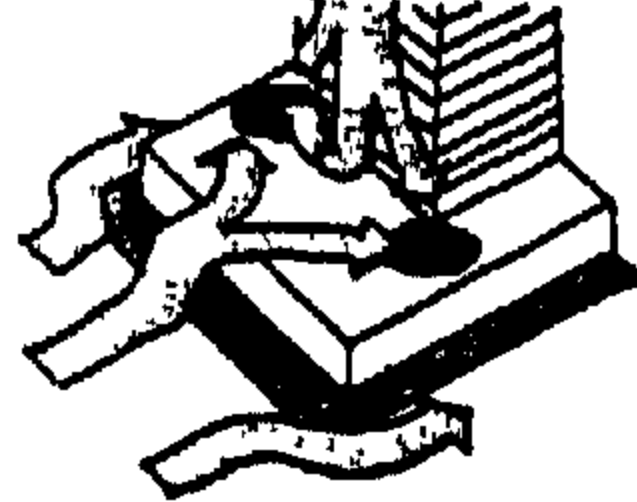
وجود مبنى مجاور قريب يؤدي
إلى انحراف الرياح مسبقاً
أحوالاً أعلى على المبنى
المرتفع



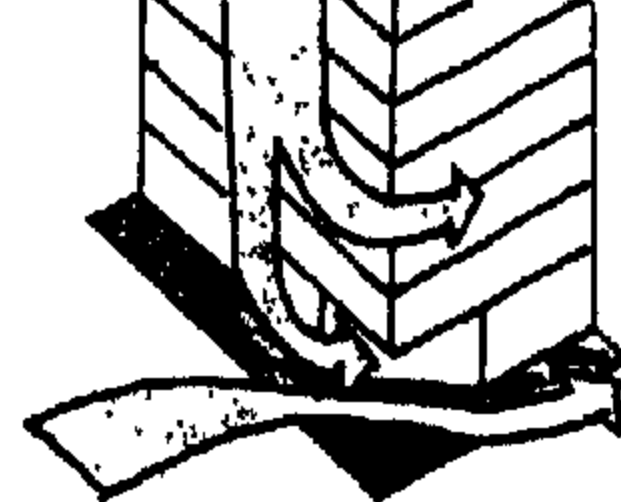
وجود مبنى مجاور قريب يؤدي
إلى الحماية من أحوال الرياح إذا
صب من اتجاه معين



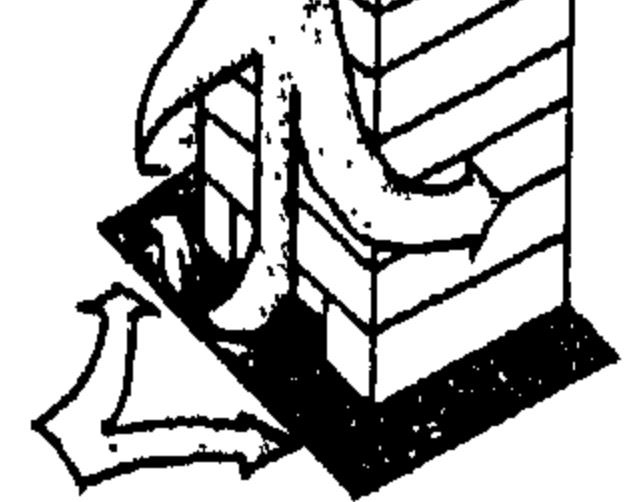
إذا كانت الدوران الأولى أقل
عرضاً فإنه تمسك تركيز الرياح
أزدهم تمسك يعتمد على
المسافات H و S



إذا كانت الدوران الأولى أعرضه
من باقي المبنى فإنه تركيز الرياح
سيكون في سقف وليس فوقه
قاعدة المبنى



الدورانية الفاحشة من الممكنه
أنه تزيد حمولة تركيز الرياح
عند راس المبنى



المداخل بغاطسة تقلل من سرعة
الرياح عند أبواب المداخل

شكل (٢ / ١٦) تأثير الرياح على المباني المرتفعة (مرجع ٣)

المراجع

1 - Hansev, R.

" Lessons from European Failures " concrete International, Dec.
1979, pp 21 - 25. «

٢ - أ. د. حمدي شاهين، د. شادية الإياري، د. منير كمال :

« التصدعات والتنكيس للمباني القديمة » . تقرير فني بقسم الخرسانة المسلحة ،
الهيئة العامة لبحوث البناء والإسكان والتخطيط العمراني .

3 - Progressive Architecture.

" Technics : Structaring tall Building " Reinhold publishing company
Inc ., Dec, 1980 .

الباب الثالث

الخرسانة المسلحة ؛ مكوناتها ، خواصها واختباراتها

أ. د. د. شريف أبو المجد ، أ. د. عمرو سلامة

١ - مكونات الخرسانة وأثرها على تصدع المنشآت

١ / ١ مقدمة :

الخرسانة مادة من صنع الإنسان ، تشكل مع الصلب أكثر مواد البناء شيوعاً واستعمالاً في عصرنا الحديث ، والخرسانة مادة مركبة تتكون من جزء مالى خامل نسبياً وهو الركام ووسط لاصق وهو الأسمنت ، والركام المستخدم إما طبعى مثل الزلط والرمل والأحجار المكسرة ، وإما صناعى مثل خبث الأفران أو الطين المنفوش ، والوسط اللاصق يستعمل لربط حبيبات الركام معاً لتكون جسم الخرسانة الصلب ، وأكثر أنواعه شيوعاً واستعمالاً هو الناتج المتكون من التفاعل الكيميائى لاتحاد الماء والأسمنت (عجينة الأسمنت).

والخرسانة فى حالتها المتصلدة تبدو كمادة صخرية ذات مقاومة عالية للضغط ، أما فى حالتها الطازجة فلها خاصية اللدونة التى تسمح بتشكيلها إلى أى شكل معمارى مطلوب .

والخرسانة العادية مقاومتها ضعيفة نسبياً للشد ، ولهذا فعند استعمالها فى التطبيقات الإنشائية فإنه يتم استعمال إما أسياخ صلب التسليح معها لمقاومة قوى الشد وهى ما تعرف بالخرسانة المسلحة ، أو وضع قوى ضغط مسبقة على الخرسانة عن طريق كابلات صلب لمعادلة قوى الشد كما فى حالة الخرسانة سابقة الإجهاد ، كما أنه يمكن استعمال الخرسانة بالاشتراك مع مواد أخرى فيما يعرف بالمادة المركبة Composite material ، كما فى حالة استخدام القطاعات المركبة من قطاعات الصلب والخرسانة أو إضافة أنواع معينة من الألياف لتحسين مقاومة الشد للخرسانة وبعض الخواص الميكانيكية الأخرى .

والخرسانة الجيدة تحتاج إلى صيانة قليلة كما أنها مقاوم جيد للحريق ، ولكن للخرسانة بعض الخواص غير المستحبة مثل قابليتها للتشكل مع الزمن وهو ما يعرف بالزحف مصحوباً بانكماش الجفاف ، إلا أنه إذا أخذ في الاعتبار في مرحلة التصميم تأثير كل من الظروف البيئية المحيطة والزحف والانكماش وغيرها على التغيرات بعيدة المدى للمنشأ الخرساني وعناصره المختلفة ، فإن ذلك سيؤدي إلى تفادي كثير من الصعوبات والمشاكل نتيجة تلك الخواص .

وتتكون الخرسانة أساساً من ثلاثة مواد هي الأسمنت والركام والماء ، وقد تضاف مادة إضافية تعرف بالإضافة لتعديل خاصية أو أكثر من خواص الخرسانة ، والأسمنت هو المكون النشط كيميائياً ، إلا أن نشاطه لا يتم إلا بإضافة الماء إليه ، أما الركام فيمثل الجزء المائي وتعود فائدته إلى أن ثمنه رخيص نسبياً ، وله مقاومة جيدة للتغيرات الحجمية التي تحدث للخرسانة بعد الخلط ، كما أنه يحسن من قدرة الخرسانة على التحمل مع الزمن . ونسب توزيع المواد المختلفة في أغلب الخرسانات تكون على النحو التالي (على وجه التقريب) :

فراغات	مونة الأسمنت (ماء + أسمنت)	ركام (صغير + كبير)
١ - ٢ %	٢٥ - ٤٠ %	٦٠ - ٦٥ %

وسوف نتناول في هذا الجزء دراسة خواص المواد المكونة للخرسانة من حيث تأثيرها على تصدع الخرسانة وحدوث عيوب بها .

١ / ٣ - الأسمنت :

كل أنواع الأسمنتات المستعملة في الخرسانة تكون مطحونة إلى درجة نعومة عالية ولكنها تختلف حسب نوع الأسمنت المنتج ، ولها خاصية التفاعل مع الماء (الإمالة) والتي ينتج عنها بمرور الوقت مادة لائحة لحبيبات الركام ، صلدة وقوية تزيد قوتها ومقاومتها للأحمال مع الزمن .

والشكل رقم (٣ / ١) يعطى أنواع الأسمنتات المختلفة وأرقام المواصفات القياسية المصرية الخاصة بها .

١ / ٢ / ١ - تأثير التركيب الكيميائي :

يحتوى الأسمنت البورتلاندى على أربعة مركبات أساسية وهى سليكات ثلاثى وثنائى الكالسيوم وألومينات ثلاثى الكالسيوم وألومينات حديد رباعى الكالسيوم - كما هو موضح بالجدول رقم (٣ / ١) - والجير من أهم مكونات الأسمنت التى تؤثر على تدهور الخرسانة ، حيث تسبب زيادته عن الوزن المحدد فى المواصفات عدم ثبات حجم الأسمنت ، والسيليكات إذا لم يكن توزيعها جيداً بين المكونات فتكون النتيجة أسمنت غير ثابت وضعيف ، وذلك لعدم اكتمال الاتحاد بين الجير والسيليكات أثناء الحرق ، وزيادة القلويات فى الأسمنت تؤدي إلى خطر التشقق بفعل تفاعل الركام مع القلويات فى الخرسانة ، فى حين أن الأسمنتات ذات المحتوى الكبير من مركب سيليكات ثنائى الكالسيوم لها مقاومة كبيرة للعوامل الكيميائية والانكماش نتيجة الجفاف ، ولذلك فهذا المركب من أهم عوامل ثبات الأسمنت ، أما ألومينات ثلاثى الكالسيوم فمقاومته ضعيفة للتأثيرات الكيميائية ، وعلى الأخص الكبريتات الموجودة فى المياه الجوفية ، وينتج عن ذلك تشققات بخرسانة الأساسات ، ولا ينصح باستعمال أسمنت به أكثر من ١٠٪ من هذا المركب .

—	أسمنت بورتلاندى سدود للماء	
—	أسمنت بورتلاندى ذو هواء محبوس	
م . ق . م ١٩٧٠ / ١٠٣١	أسمنت بورتلاندى أبيض	أسمنت
م . ق . م ١٩٦٤ / ٥٤١	أسمنت بورتلاندى منخفض الحرارة	بورتلاندى
م . ق . م ١٩٨٦ / ٥٨٣	أسمنت بورتلاندى مقاوم للكبريتات	
م . ق . م ١٩٦٩ / ٩٧٤	أسمنت بورتلاندى حديدى	
م . ق . م ١٩٨٤ / ٣٧٣	أسمنت بورتلاندى فائق النعومة	
م . ق . م ١٩٨٤ . ٣٧٣	أسمنت بورتلاندى سريع التصلد	
م . ق . م ١٩٨٤ / ٣٧٣	أسمنت بورتلاندى عادى	
	الأسمنت المخلوط	أنواع الأسمنت
	الأسمنت عالى الألومينا .	
	الأسمنت الطيعى	
	الأسمنت البوزولانى pozzolanic	
		أسمنتات أخرى

شكل (٣ / ١) أنواع الأسمنت المستخدمة فى الخرسانة

اسم المركب	التركيب الكيميائي	الاختصار العلمي
سيليكات ثلاثي الكالسيوم	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
سيليكات ثنائي الكالسيوم	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
ألومينات ثلاثي الكالسيوم	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
ألومينات حديد رباعي الكالسيوم	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

جدول (٣ / ١) المركبات الرئيسية للأسمنت البورتلاندى

١ / ٢ / ٢ - تأثير نعومة الأسمنت :

تؤثر نعومة الأسمنت على ثبات حجمه ، وذلك لتمدد بعض العناصر الموجودة في الحبيبات الكبيرة غير مكتملة التفاعل ، وكلما زادت نعومة الأسمنت كلما ازدادت حساسيته أثناء التخزين للجو وقد تؤدي عدم الحماية الكافية إلى شكه وعدم صلاحيته للاستخدام ، كما أن الأسمنتات الناعمة تتفاعل قلوياتها بشدة مع الركام النشط ، وتنتج عن الأسمنتات الناعمة عجينة أسمنتية لها خاصية انكماش عالية وقابلية أكثر للتشقق ، إلا أن درجة النعومة الكبيرة تحسن من تماسك خلطة الخرسانة ، وتعمل على إنقاص كمية الماء التي تنفصل على سطح الخلطة وهي الظاهرة التي تعرف بالنضج أو الإدماء ، وتلجأ بعض الشركات العالمية إلى إضافة بعض الإضافات إلى الأسمنت فائق النعومة أثناء تصنيعه للتغلب على درجة الانكماش العالية .

١ / ٢ / ٣ - تأثير حرارة الإماهة :

يحدث دائماً ارتفاع في درجات الحرارة أثناء تفاعل الأسمنت مع الماء (الإماهة) ، مما يسبب تأثيرات غير مرغوب فيها على خواص الخرسانة المتصلدة نتيجة التشققات التي تحدث في المادة اللاحمة ، وتكون درجات التفاعل أعلى للأسمنتات سريعة التصلد عن الأسمنتات العادية ، ويستحسن تقليل درجة الحرارة عند استعمال مثل هذه الأسمنتات في الأجواء الحارة عن طريق استخدام الماء البارد لتلافي ضررها .

١ / ٢ / ٤ - تأثير نوع الأسمنت :

يبين جدول (٣ / ٢) المقاومة النسبية بين خواص أنواع الأسمنتات المختلفة ، وذلك من حيث معدل تحسن المقاومة ومعدل انبعاث الحرارة والانكماش نتيجة الجفاف ومقاومة التشقق ومقاومة العوامل الكيميائية .

نوع الأسمنت	معدل تحسن المقاومة	معدل انبعاث الحرارة	الانكماش نتيجة الجفاف	مقاومة التشقق	المقاومة للعوامل الكيميائية
بورتلاندى عادى	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	منخفض
بورتلاندى سريع التصلد	عال	عال	متوسط	منخفض	منخفض
بورتلاندى منخفض الحرارة	منخفض	منخفض	عال	عال	متوسط
بورتلاندى مقاوم للكبريتات	منخفض/متوسط	منخفض/متوسط	متوسط	متوسط	عال
بورتلاندى خبث الأفران	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط
بورتلاندى عالى الألومينا	عال جدا	عال جدا	متوسط	منخفض	عال جدا
بوزولانى	منخفض	منخفض/متوسط	عال	عال	عال

جدول (٣ / ٢) - المقارنة النسبية لخواص بعض أنواع الأسمنت المختلفة

١ / ٢ / ٥ - ثبات حجم الأسمنت :

عادة لا يظهر أثر استعمال أسمنت غير ثابت الحجم إلا بعد فترة طويلة ، حيث يعمل عدم ثبات الحجم على الضرر بمقاومة الخرسانة وتحملها مع الزمن ، فينتج عن عدم ثبات الحجم بعد تمام عملية شك الخرسانة تمدد المواد الداخلية فى الأسمنت ، ويصحب ذلك تشققات وتفتت للكتلة الخرسانية ، ويرجع عدم الثبات فى الأسمنت إما إلى تفاعل الجير الحى الموجود فى حبيبات الأسمنت مع الماء ، أو إلى زيادة نسبة المغنيزيا المهمة أو إلى زيادة نسبة الكبريتات فى الأسمنت .

١ / ٣ - الركام :

الركام أرخص من الأسمنت ، ولهذا فإنه بزيادة كمية الركام نحصل على خرسانة أكثر اقتصاداً ، كما أن استعمال الركام يعمل على تحسين كل من الاتزان الحجمى والتحمل مع الزمن للخرسانة الناتجة ، والقول السائد بأن ركام الخرسانة هو الجزء المالى الخامل غير دقيق التعبير ، حيث إن خواصه الطبيعية ، وأحياناً كثيرة الكيميائية ، تؤثر بدرجات متفاوتة على خواص الخرسانة فى حالتها الطازجة والمتصلدة - كما يظهر من جدول (٣ / ٣) .

خواص الخرسانة	خواص الركام المؤثرة عليها
<p>١ - التحمل مع الزمن :</p> <ul style="list-style-type: none"> • مقاومة التجمد والذوبان . • مقاومة البلل والجفاف . • مقاومة ارتفاع وانخفاض الحرارة . • مقاومة التآكل . • تفاعل الركام مع القلويات . <p>٢ - المقاومة :</p> <p>٣ - الانكماش والزحف :</p>	<p>المسامية والنفاذية والفراغات داخل الحبيبات ودرجة التشبع ومقاومة الشد وحالة السطح ونسبة الشوائب (الطين) .</p> <p>الفراغات داخل الحبيبات ومعامل المرونة .</p> <p>معامل التمدد الحرارى .</p> <p>الصلادة .</p> <p>وجود السيليكات النشطة فى الركام .</p> <p>قوة الحبيبات ، حالة السطح ، نظافة الحبيبات ، شكل الحبيبات والمقاس الاعتبارى الأكبر .</p> <p>معامل المرونة ، شكل الحبيبات ، التدرج ، النظافة ، المقاس الاعتبارى الأكبر ونسبة المعادن الطينية .</p>

جدول (٣ / ٣) خواص الركام المؤثرة فى خواص الخرسانة

ومن أهم خواص الركام المؤثرة على تدهور الخرسانة : المسامية أو الفراغات داخل الحبيبات وحالة السطح والصلادة ومقاومة التهشيم والتغيرات الحجمية ، وهى خواص طبيعية ، وكذلك خواصه الكيميائية من حيث القابلية للتفاعل .

١ / ٣ / ١ - الخواص الطبيعية :

أ - المسامية (الفراغات داخل الحبيبات) :

وهى خاصية هامة لأنها تؤثر على قوة ونفاذية الخرسانة ، فوجود فراغات داخل حبيبات الركام يضعفها وفى نفس الوقت يزيد من قدرة الركام على امتصاص الماء والنفاذية للسوائل ، مما يؤثر على النفاذية الكلية للخرسانة ، كما أن وجود فراغات فى الركام يسبب تبادل الماء بين الحبيبات وعجينة الأسمنت ، مما يؤثر على مدى تحمل الخرسانة مع الزمن ، كما أن دورات التجمد والذوبان يكون تأثيرها أكبر على الخرسانة كلما زادت فراغات الركام .

ومن الناحية العملية يصعب قياس نسبة الفراغات أو المسامية قياساً مباشراً ، ولذا فتقاس درجة امتصاص الركام للماء بدلاً منها .

ب - شكل وحالة سطح حبيبات الركام :

يؤثر شكل وحالة السطح على مقاومة الخرسانة للأحمال وتحميلها مع الزمن معاً ، فحبيبات الركام الكبير المفلطحة Flaky والعصوية Elongated تقلل من درجة تشغيل الخرسانة ، وتحتاج إلى زيادة كمية الرمل والأسمنت والماء لتعويض هذا النقص فتضعف مقاومة الخرسانة للضغط ، كما أن الحبيبات المفلطحة تقلل من تحمل الخرسانة مع الزمن ، حيث إنها تسبب تكون فراغات الهواء والماء تحتها في الخلطة الخرسانية ، أما حالة السطح فتأثيرها على تماسك الحبيبات مع مونة الأسمنت يعتمد على درجة خشونة السطح ، والحبيبات ذات الأسطح الزجاجية تعطى أضعف تماسك .

ويؤثر شكل وحالة الركام الصغير على كمية الماء المطلوبة للخلطة ، فكلما زادت نسبة الفراغات في عينة الرمل السائبة كلما احتاجت الخلطة إلى كمية ماء أكبر مما يضعف الخرسانة .

ج - الصلادة Toughness / hardness :

وتقاس بالمقاومة للانهدام نتيجة الصدمات عن طريق اختبار الصدم للركام (Aggregate impact test) وبالمقاومة للبرى عن طريق اختبار البرى (Abrasion test) وهى خاصية هامة لتحمل خرسانات الطرق وبلاطات الأرضيات مع الزمن .

د - التغيرات الحجمية للركام :

إذا أدت التغيرات الحجمية للركام المصاحبة لتغير درجة الحرارة أو الرطوبة في البيئة المحيطة إلى تدهور الخرسانة ، فإن هذا الركام يقال عنه إنه غير ثابت الحجم (Unsound) ، والركام الذى تحدث له تغيرات حجمية مؤثرة نتيجة دورات البلل والجفاف نادر الوجود ، أما دورات التجمد والذوبان فهى التى تسبب تغيرات حجمية للركام تؤدي إلى تدهور الخرسانة ، وهذا التدهور يأخذ شكل أجزاء متساقطة من السطح (Pop - outs) - شكل (٣ / ٥) بالباب الخامس أو يكون شرخاً على شكل حرف (D) فى بلاطات الأرضية والأرصفة ، وزيادة حجم الحبيبات نتيجة دورات التجمد يعتمد على مسامية الحبيبات ودرجة تشبعها بالماء وحجمها ، واستعمال حبيبات غير مسامية وحجمها مناسب - ليست كبيرة - يقلل التغيرات الحجمية للركام .

١ / ٣ / ٢ - الخواص الكيميائية :

إن أغلب المشاكل التي تنشأ عن الخواص الكيميائية للركام هي التي يسببها تفاعل الركام المحتوى على سيليكات نشطة مع القلويات ، وهناك تفاعل آخر أقل انتشاراً هو تفاعل القلويات مع الكربونات .

أ - تفاعل الركام مع القلويات Alkali - aggregate reaction :

إن وجود سيليكات نشطة في الركام يؤدي إلى حدوث تفاعل بينها وبين القلويات الموجودة في عجينة الأسمنت وينتج عن هذا التفاعل تمدد كبير يؤدي إلى تدهور الخرسانة ، وأنواع السيليكات النشطة توجد في حجر عين الشمس أو الأوبال (Opal) وفي الصوان (Chert) وفي الحجر الجيري السيليسي وبعض أنواع الحجر الرملي ، والعوامل المؤثرة على التمدد الناتج عن التفاعل هي : طبيعة السيليكات النشطة ، وكميتها ، وحجم الحبيبات ، وكمية القلويات ، والرطوبة ، وقد وجد أن كمية من السيليكات حوالي ٥ ٪ تؤدي إلى أكبر تمدد ، وأن كمية القلويات في الأسمنت (Na_2O) إذا تعدت ٦ ٪ يصبح التمدد مؤثراً .
أما طبيعة التفاعل فتتم بالمراحل الآتية :

- ١ - تفقد القلويات تبلورها Depolymerization ، بينما تذوب السيليكات النشطة .
- ٢ - يحدث التفاعل بين القلويات والسيليكات النشطة فتنشأ مادة هلامية Silica gel ذات حجم أكبر من حجم القلويات والسيليكات .
- ٣ - تجذب هذه المادة الهلامية المياه من مناطق مجاورة في الخرسانة ، مما يزيد من الانتفاخ والتمدد الذي يؤدي إلى تساقط طبقة الخرسانة السطحية أو تصدعها .
وتستعمل الإضافات المحتوية على مواد بوزولانية للحد من التمدد المصاحب لتفاعل الركام مع السيليكات .

ب - تفاعل القلويات مع الكربونات Alkali - carbonate reaction :

عند استخدام ركام ناتج من كسر الصخور الكربونية (مثل الحجر الجيري الدولوميتي Dolomitic Limestone) فإنه يحدث تفاعل بين كربونات الكالسيوم والماغنسيوم الموجودة في هذا الركام ($\text{Mg CO}_3 / \text{CaCO}_3$) وبين القلويات الموجودة في عجينة الأسمنت ، وهذا التفاعل يصاحبه تمدد ، ولا يؤدي هذا التمدد إلى تدهور في الخرسانة إلا إذا اتصف الصخر الكربوني بالصفات الآتية :

١ - أن يحتوى على حبيبات دولوميت ناعمة - بللورات صغيرة .

٢ - أن تكون به كمية كبيرة من الكالسيت (Calcite) الناعم .

٣ - أن تكون بللورات الدولوميت والكالسيت موزعة بانتظام فى الطين الداخلى .

وطبيعة هذا التفاعل غير محددة بدقة ، ولكن ينتج عنه تمدد يعتمد معدله على حجم البللورات ونسبة تركيز الكالسيت (نسبة ٥٠ ٪ تؤدي إلى أسرع تفاعل) .

١ / ٤ - ماء الخلط :

لا يعمل ماء الخلط على إماهة الأسمنت فقط ، وإنما يعمل كذلك على تسهيل الخلط والصب (كالشحم فى الأجزاء المتحركة من الماكينات) ، والماء الصالح للشرب يصلح بوجه عام لخلط الخرسانة ، والشوائب التى لها تأثير ضار على الخرسانة تشمل الطفلة والطين والأحماض والأملاح والمواد العضوية ومياه المجارى ، ويجب ألا تزيد نسب تركيز هذه الشوائب عن تلك المبينة فى جدول (٣ / ٤) (٢) .

واستعمال ماء البحر (الذى يحتوى على ٣٥٠٠٠ جزء فى المليون أملاح أو ٣.٥ ٪) لا يبدو أن له تأثيراً ضاراً على قوة أو احتمال الخرسانة مع الزمن ، ولكنه يؤدي إلى بقع وعيوب على سطح الخرسانة ، كما أنه يزيد من احتمالات صدأ صلب التسليح ، ولذا فلا يوصى باستعمال ماء البحر فى خلطة الخرسانة المسلحة .

١ / ٥ - الإضافات :

الإضافات هى مواد تضاف للخلطة الخرسانية أثناء الخلط أو قبله مباشرة بغرض تغيير أو تحسين خواص الخرسانة الناتجة ، ورغم أن البودرة الناعمة من خبث الأفران أو المواد البوزولانية تقع فى حدود هذا التعريف إلا أنها لا تقع ضمن دائرة الإضافات ، وهناك عدة مئات من الإضافات ، وسنعرض هنا الإضافات التى تحسن مقاومة الخرسانة وتحملها مع الزمن ومن ثم تقلل من احتمالات التشقق .

١ / ٥ / ١ - إضافات الهواء المحبوس :

وهى تحسين تحمل الخرسانة للظروف المحيطة مع الزمن وخاصة مقاومتها لدورات التجمد والذوبان ، ويتم حبس الهواء فى الخلطة عن طريق مركبات رغوية (Foaming agents)

الشوائب	الحد الأقصى للتركيز (جزء في المليون)	ملاحظات
مواد عالقة	٢٠٠٠	طفلة ، طين ، مواد عضوية
الكربونات	١٠٠٠	تقلل وقت التصلد
بيكربونات	٤٠٠ - ١٠٠٠	٤٠٠ لبيكربونات الكالسيوم والمغنسيوم
كبريتات الصوديوم	١٠٠٠٠	قد ترفع المقاومة المبكرة ولكنها تخفض
كبريتات الماغنسيوم	٤٠٠٠٠	المقاومة النهائية
كلوريد الصوديوم	٢٠,٠٠٠	تقلل وقت التصلد وترفع المقاومة المبكرة
كلوريد الكالسيوم	٥٠٠٠٠	ولكنها تخفض المقاومة النهائية
كلوريد الماغنسيوم	٤٠٠٠٠	
الفوسفات وأملاح الزنك		
والنحاس	٥٠٠	تؤخر الشك
الأحماض غير العضوية	١٠٠٠٠	الأس الهيدروجيني أقل من ٣ .
هيدروكسيد الصوديوم	٥٠٠	
كبريتيد الصوديوم	١٠٠	يجب اختبار الخرسانة .
السكر	٥٠٠	يؤخر الشك .

جدول (٣ / ٤) المستويات المسموح بها للشوائب في ماء الخلط (٢)

أساسها راتنجات طبيعية (Resins) أو دهون حيوانية أو نباتية أو منظفات صناعية ، تعمل على تكوين فقاعات هوائية صغيرة - بقطر من ٢٥ ، إلى ١ مم - أثناء الخلط ، أو عن طريق كيمائيات ينتج عن تفاعلها مع الأسمنت غاز مثل بودرة الزنك أو الألومنيوم ، ولكن الطريقة الأولى أكثر كفاءة وأكثر انتشاراً .

وإضافات الهواء المحبوس تحسن القابلية للتشغيل وتقلل الإدماء (ظهور الماء على السطح) والانفصال الحبيبي (Segregation) ، ولكنها في نفس الوقت تقلل من مقاومة الخرسانة إلى حد ما .

١ / ٥ / ٢ - الملدنات Plasticizers :

وهي تعمل على تحسين القابلية للتشغيل مما يؤدي إلى :

أ - تسهيل الصب والدمك لنفس نسبة (م / س) ، مما يقلل التعشيش
Honeycombing .

ب - تقليل كمية الماء ، وهذا يؤدي إلى زيادة المقاومة وتقليل الإدماء .

ج - تقليل كمية الأسمنت عند تقليل كمية الماء ، وهذا يعمل على تخفيض حرارة
الإمالة ، وتقليل احتمالات التصدع نتيجة الانكماش .

٤ / ٥ / ٣ - المواد البوزولانية Pozzolans :

وهي مواد تتفاعل مع الجير الذي يتحرر عند الإمالة مكونة سيليكات وألومينات
الكالسيوم غير القابلة للذوبان والتي تعمل على سد الفجوات الداخلية والمسام الشعرية في
عجينة الأسمنت ، مما يزيد من تحمل الخرسانة مع الزمن حيث تقل نفاذيتها للسوائل ، ومن
أكثر المواد البوزولانية شيوعاً مسحوق الرماد (Pulverised Fuel Ash-PFA) والميكرو
سيليكات ، وتأثير هذه المواد على الخلطة الخرسانية أنها تعمل على تأخير الشك والتصلد
ولكنها لا تؤثر على المقاومة إذا تمت المعالجة بعناية .

ويمكن استعمال مسحوق الرماد (PFA) كبديل للرمال (حتى ٢٠٪) أو كبديل
للأسمنت ، وذلك في الخرسانة التي لا تستعمل لأغراض إنشائية أو في الخرسانة الكتلية ،
ولكن يجب أن يكون مطابقاً للمواصفات القياسية .

وتتفاعل المواد البوزولانية مع هيدروكسيد الكالسيوم مكونة عجينة جيلاينية (Gel)
من هيدرات سيليكات الكالسيوم الثابتة ، والتي تقلل الفجوات والمسام الداخلية في عجينة
الأسمنت .

٢ - خواص الخرسانة المؤثرة في حدوث العيوب

إن بعض خواص الخرسانة المتصلدة تؤثر تأثيراً مباشراً على حسن أدائها لوظيفتها ، وضعف هذه الخواص يؤدي إلى حدوث تدهور للمنشأ الخرساني ، وفهم طبيعة هذه الخواص والعوامل المؤثرة عليها ضروري لتجنب حدوث هذا التدهور ، وأهم الخواص المؤثرة في حدوث عيوب للمنشآت الخرسانية هي :

١ - المقاومة للأحمال .

٢ - الانكماش .

٣ - النفاذية .

٤ - التحمل مع الزمن .

٢ / ١ - المقاومة للأحمال Strength :

وتعرف المقاومة للأحمال بأنها أكبر حمل (إجهاد) تستطيع الخرسانة تحمله ، وكلما زادت مقاومة الخرسانة للأحمال فإن ذلك يعني تحسن باقي خواصها في أغلب الأحوال ، وتحدد رتبة الخرسانة ودرجة جودتها عادة بمقاومتها لأحمال الضغط بسهولة إجراء الاختبار في الموقع ، وقد حدد الكود المصري الجديد (٣) رتب الخرسانة (مقاومة الضغط المميزة Characteristic strength) من ١٠٠ إلى ٤٥٠ كجم / سم^٢ ، وإن كان من الممكن الوصول إلى خرسانة تصل مقاومتها للضغط إلى ٨٠٠ كجم / سم^٢ ، وتحدد مقاومة الضغط باختبار المكعبات أو الاسطوانات القياسية - كما سيرد في القسم الرابع من هذا الباب .

٢ / ١ / ١ - العوامل المؤثرة في مقاومة الخرسانة - شكل رقم (٣ / ٢) :

أ - تأثير مكونات الخرسانة :

الأسمنت :

تزداد مقاومة الخرسانة زيادة كبيرة عند زيادة نعومة الأسمنت وخاصة في العمر

المبكر ، حيث تكون الخرسانة أكبر عرضة للتشروخ ، ولذا فالأسمنت سريع التصلد تكون درجة نعومته أكبر من الأسمنت العادى (٣٠٠ م / كجم) ، أما تأثير التركيب الكيميائى للأسمنت فمن المعروف أن زيادة نسبة سيليكات ثلاثى الكالسيوم (C₃S) فى الأسمنت تجعل الخرسانة تحصل على مقاومة أسرع بكثير من الخرسانة المكونة من أسمنتات غنية بسيليكات ثنائى الكالسيوم (C₂S) ، وإن كان الفارق يتضاءل كثيرا بعد عدة شهور من صب الخرسانة .

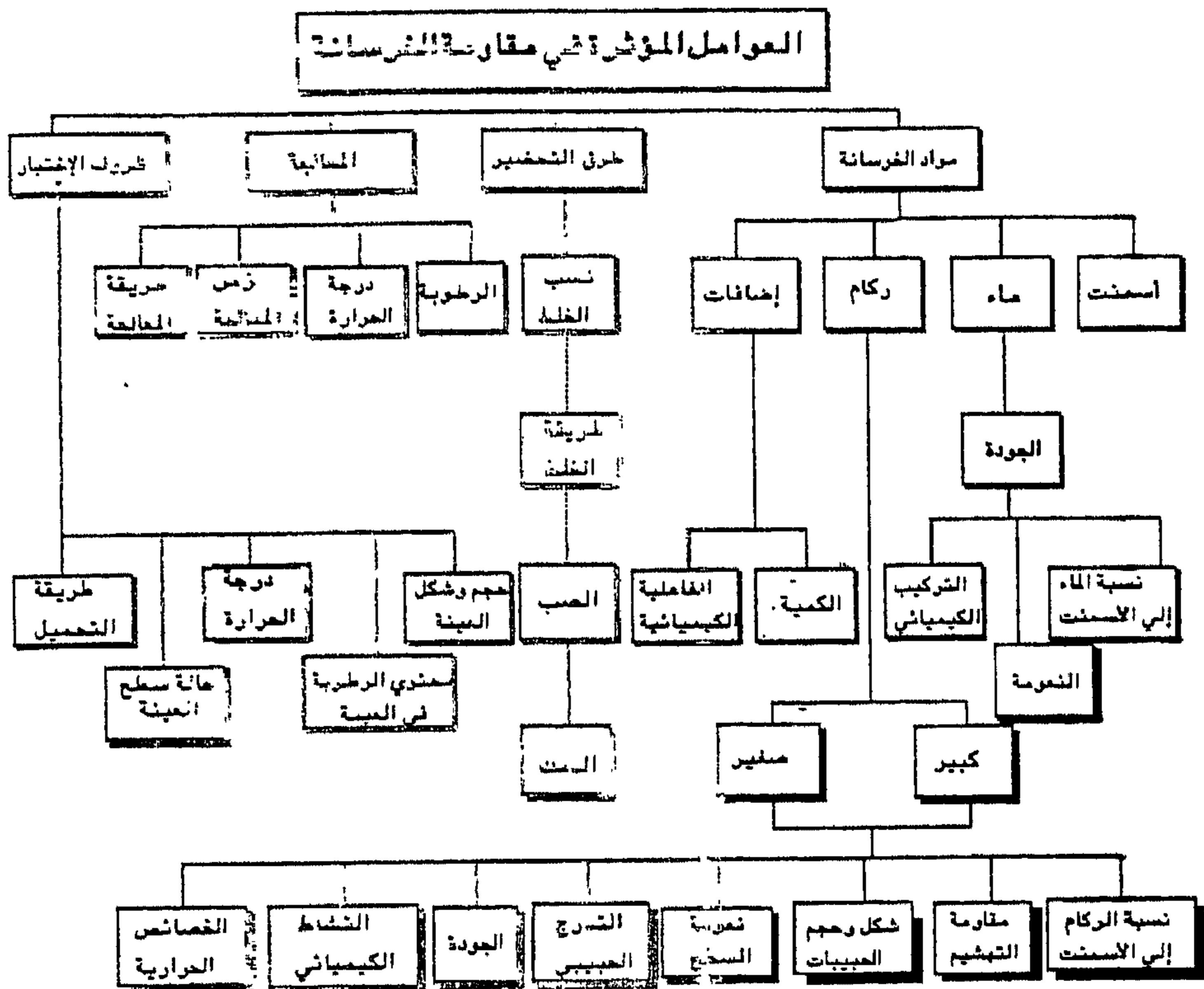
الماء

إن الخلطة الخرسانية التى تحتوى على أقل كمية من الماء لإتمام إمالة الأسمنت (حوالى ربع وزن الأسمنت) إذا أمكن دمكها دمكاً تاماً ، فإنها تعطى أعلى مقاومة ضغط ممكنة ، ولكن خلطة بها هذا المحتوى من الماء ستصبح جافة جداً ويستحيل دمكها دمكاً تاماً ، وإذا كان الدمك غير تام فإن الخلطة ستحتوى على نسبة عالية من الفراغات مما سيخفض مقاومتها للضغط ، وفى نفس الوقت فإن زيادة محتوى الماء لتسهيل الصب والدمك سيؤدى إلى خفض المقاومة وزيادة النفاذية ، وفى الطبيعة يجب عند تصميم الخلطة الحصول على أقصى دمك ممكن ، وفى نفس الوقت الحصول على مقاومة الضغط المطلوبة .

الركام:

إن مقاومة التهشيم للركام لها تأثير هام على مقاومة الخرسانة ؛ لأن الركام عادة ما يكون أقوى من الخرسانة ذاتها ، إلا أن التصاق الركام بالمونة هو العامل الأكثر أهمية فى تحديد مقاومة الخرسانة ، وهذا الالتصاق يتأثر بشكل حبيبات الركام وحالة سطحها ونظافتها ، وبالنسبة لخلطة لها نسب خلط معينة فإن مقاومة الخرسانة تقل إذا زاد المقاس الاعتبارى الأكبر للركام ، ولكن زيادة المقاس الاعتبارى الأكبر تعنى الحاجة إلى كمية مياه أقل فى الخلطة مما يعنى زيادة المقاومة ، ولذا فإن تحديد المقاس الاعتبارى الأكبر يتم عن طريق حجم الأعضاء الخرسانية ثم تصميم الخلطة على أعلى مقاومة .

والتدرج الحبيبي الجيد هام جداً فى زيادة المقاومة كما أن استخدام ركام به سيليكات نشطة تتفاعل مع القلويات ، قد يؤدى إلى حدوث تشروخ وضعف المقاومة .



شكل (٣ / ٢) العوامل المؤثرة على مقاومة الخرسانة (٤)

الإضافات :

كقاعدة عامة فإن تأثير الإضافات على المقاومة يكون عن طريق :

١ - تغيير في تفاعلات الإماهة .

٢ - تغيير في محتوى الهواء المحبوس .

٣ - تغيير في نسب الخلطة (أساسا م / س) .

مجموعات الشك :

تُزيد معدل الإماهة مما يزيد المقاومة المبكرة بدون تغيير ملحوظ في المقاومة النهائية ، إلا إذا سببت الزيادة في حرارة التفاعل شروخا داخلية مما يؤدي إلى نقص المقاومة النهائية .

مبطلات الشك :

تقلل المقاومة المبكرة نتيجة تأخير زمن الشك ، وإذا لم تزد كمية الهواء المحبوس فإن المقاومة النهائية لن تتغير عن مقاومة الخلطة القياسية .

إضافات الهواء المحبوس :

زيادة الهواء المحبوس سيقول المقاومة في كل الأعمار ، ولابد من زيادة محتوى الأسمنت للوصول إلى المقاومة المطلوبة .

زيادة القابلية للتشغيل :

عند زيادة القابلية للتشغيل باستخدام الملدنات (superplasticizers - plasticizers) فإن المقاومة لا تتأثر إذا ظل محتوى الهواء المحبوس ثابتا ، أما إذا استعملت هذه الإضافات لتقليل كمية الماء لنفس القابلية للتشغيل فالمقاومة ستزداد نتيجة لذلك .

ويجب ملاحظة أن تأثير الإضافات على خلطة ما يعتمد على مواد الخلطة والظروف المحيطة ، وخاصة درجة الحرارة ، ولابد من عمل خلطات تجريبية في نفس ظروف التشغيل واختبارها للتأكد من تأثير الإضافات على المقاومة .

ب - تأثير طريقة التحضير :

عندما لا يتم خلط المواد جيدا بحيث يصبح الخليط متجانسا ، فإن النتيجة حتما

ستكون خرسانة ضعيفة ، وحتى عندما يكون الخلط مناسباً فلا بد من العناية بالنقل والصب والدمك لتقليل احتمال حدوث الإدماء والانفصال الحبيبي والتعشيش التي تضعف الخرسانة ، ولا بد أن تكون الخلطة مصممة بحيث يمكن دمكها دمكا تاما لأن الفجوات الداخلية تضعف مقاومة الخرسانة .

جـ - تأثير المعالجة :

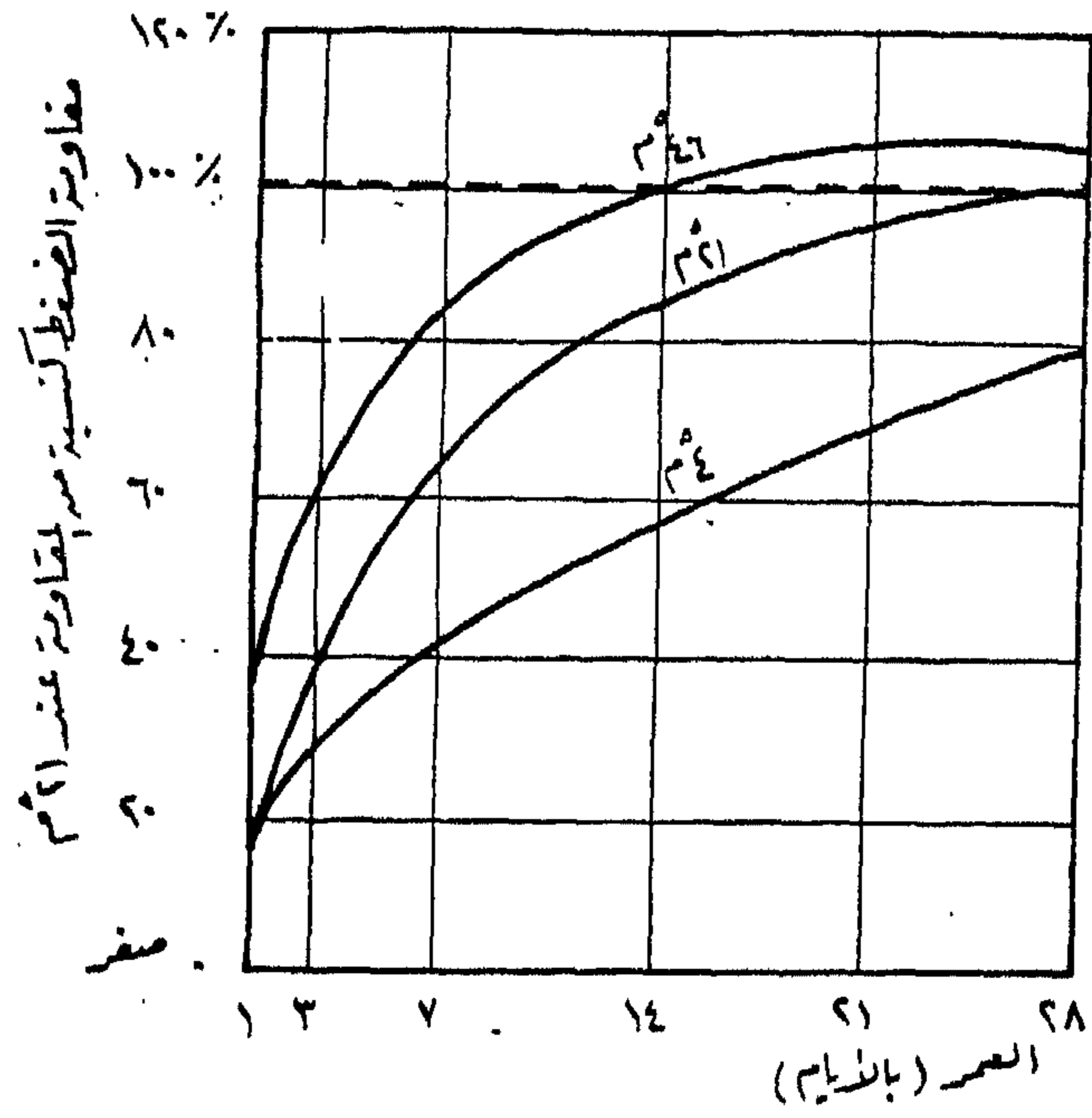
إن معالجة الخرسانة أمر حيوي للحصول على مقاومة مناسبة ؛ لأن كمية ومعدل ونتيجة الإمالة تعتمد على درجة الحرارة والرطوبة المحيطة ، وبوجه عام كلما زاد الوقت الذي نحتفظ فيه بالخرسانة رطبة كلما زادت مقاومتها ، والخرسانة المصنوعة من أسمنت بورتلاندى عادى وتمت معالجتها لمدة أسبوعين بالماء تصل إلى ٧٥ ٪ من مقاومتها النهائية بعد ٢٨ يوما ، أى أن مقاومة الخرسانة بعد سنة ستكون مرة وربع مقاومتها المميزة Charac-teristic strength ، أما الخرسانة المتروكة فى الهواء بدون بلل فلا تصل إلا إلى ٥٠ - ٥٥ ٪ من مقاومتها النهائية ، ولا بد أن يكون البلل دائما خلال الفترة المحددة بالكود حتى تصير المعالجة فعالة .

كما أن درجة حرارة الخرسانة أثناء المعالجة لها تأثير كبير على تطور المقاومة مع الوقت - كما يظهر من شكل (٣ / ٣) .

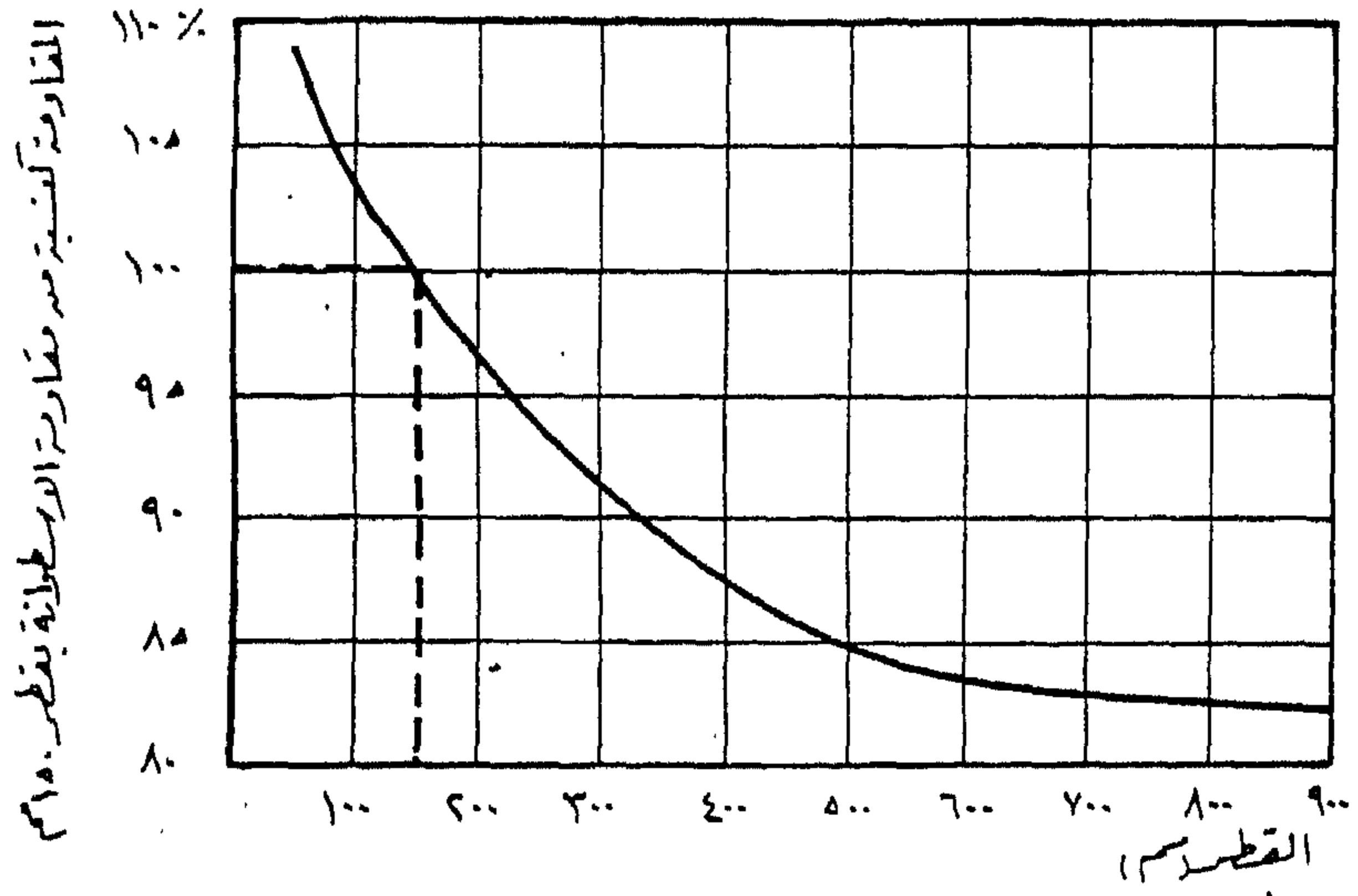
د - تأثير ظروف الاختبار :

حجم وشكل العينة :

تستخدم المكعبات والاسطوانات فى اختبار مقاومة الخرسانة للضغط ولكل شكل نتائج مقاومة مختلفة مع استعمال نفس الخلطة ، والأكثر من ذلك أنه للشكل الواحد فإن نتائج المقاومة للضغط تختلف باختلاف حجم العينة ، وشكل (٣ / ٤) يبين تأثير قطر العينة ، حيث يظهر من الشكل أنه كلما صغر حجم العينة كلما زادت المقاومة للضغط ، كما أن نسبة الارتفاع إلى القطر تؤثر على النتائج حيث تزيد المقاومة كلما نقصت نسبة ارتفاع العينة إلى قطرها ، ولذا فقد حددت المواصفات القياسية المصرية - وكذلك البريطانية - المكعب القياسى ١٥ × ١٥ × ١٥ سم كمرجع لتحديد مقاومة الخرسانة ، أما إذا استخدمت أشكالا أخرى لعينات الاختبار فإنه يلزم تعديل النتائج بضرب نتائج الاختبار فى معاملات التصحيح الواردة فى الجدول (٣ / ٥) ، كما أن المواصفات البريطانية



شكل (٣ / ٣) مقاومة الضغط لخرسانات مصبوبة عند درجات حرارة مختلفة



شكل (٤ / ٣) تأثير حجم العينة على مقاومة الضغط بعد ٢٨ يوماً

أعطت معاملات تصحيح أخرى لنتائج اختبار القلب الخرساني (الذي يستخدم في تحديد مقاومة المنشآت الخرسانية - انظر قسم ٤ / ٢ / ٢) - إذا كانت نسبة ارتفاع العينة إلى قطرها أقل من ٢ - جدول (٣ / ٦) - أي أن نتيجة اختبار عينة القلب الخرساني تضرب في المعامل الموجود في جدول (٣ / ٦) أولاً إذا كان ارتفاعها أقل من ضعف قطرها ، ثم تضرب في المعامل الموجود في جدول (٣ / ٥) للحصول على المقاومة المكافئة لمقاومة مكعب قياسي .

شكل القالب	أبعاد القالب (سم)	معامل التصحيح
مكعب	١٠ * ١٠ * ١٠	٠,٩٧
	١٥ * ١٥ * ١٥	١,٠٠
	٢٠ * ٢٠ * ٢٠	١,٠٥
	٣٠ * ٣٠ * ٣٠	١,١٢
اسطوانة	٢٠ * ١٠	١,٢٠
	٣٠ * ١٥	١,٢٥
	٥٠ * ٢٥	١,٣٠
منشور	٣٠ * ١٥ * ١٥	١,٢٥
	٤٥ * ١٥ * ١٥	١,٣٠
	٦٠ * ١٥ * ١٥	١,٣٢

جدول (٣ / ٥) معامل تصحيح مقاومة الضغط للأشكال المختلفة لقوالب الخرسانة (٣)

١,٠٠	١,٢٥	١,٥	١,٧٥	٢	نسبة ارتفاع العينة : قطرها
,٩٢	,٩٤	,٩٦	,٩٨	١,٠٠	معامل التصحيح

جدول (٣ / ٦) معامل تصحيح مقاومة الضغط لأسطوانات بنسب ارتفاع : قطر مختلفة (٥)

محتوى الرطوبة ودرجة الحرارة :

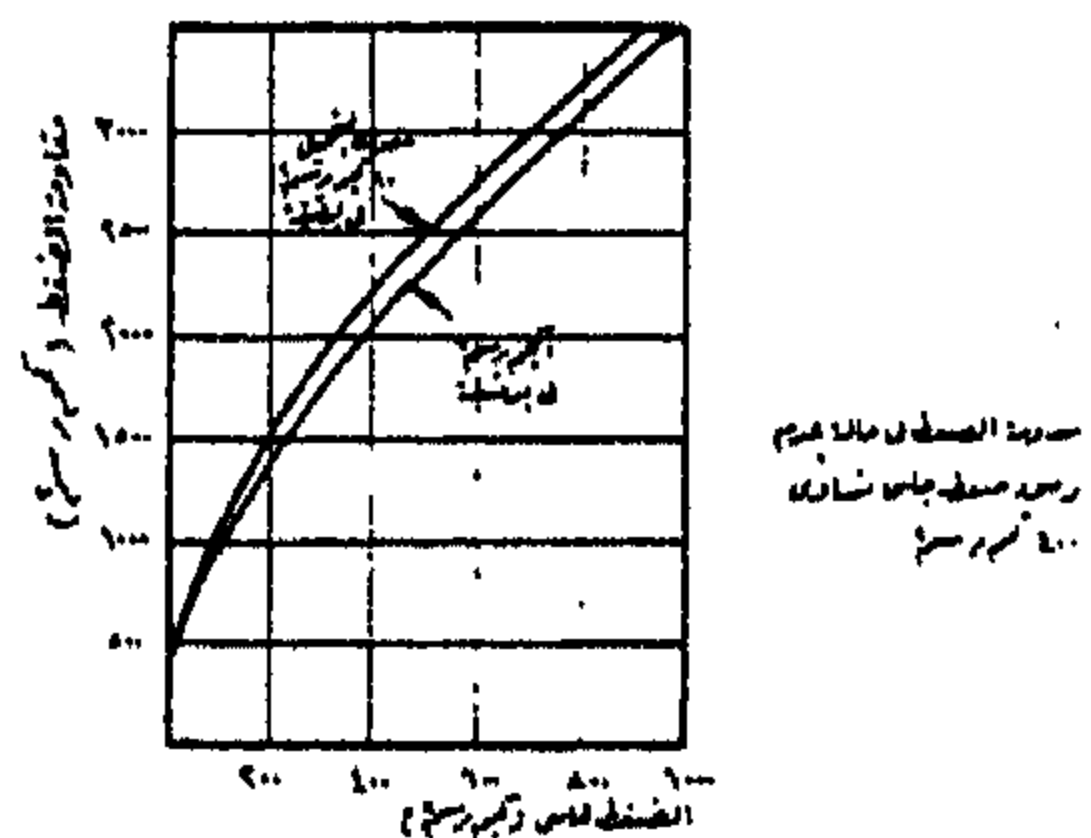
يجب عدم الخلط بين محتوى رطوبة عينة الاختبار ودرجة الحرارة عند الاختبار وبين محتوى الرطوبة ودرجة الحرارة أثناء فترة المعالجة ، ويختلف تأثير مقاومة الخرسانة

للاحمال بمحتوى رطوبة العينة عند الاختبار ودرجة الحرارة باختلاف نوع الاختبار وبمدى تأثير الرطوبة والحرارة على حدوث إجهادات داخلية تغير من قيمة الأحمال الخارجية. اللازمة للوصول إلى انهيار العينة ، ففي حالة اختبار الضغط تعطى العينات الجافة تماما نتائج أعلى من العينات المشبعة بالماء (بحوالى ١٠ - ٢٠ ٪) (٦) ، وحيث إن الاختبار القياسى يقتضى بأن تكون العينة رطبة أثناء الاختبار - تخرج من حوض الماء ثم تجفف وتختبر - فإن اختبار عينات جافة تماما يعطي نتائج خادعة ، ويرجع النقص فى مقاومة العينات المشبعة بالماء إلى تولد ضغوط فى الفراغات الداخلية المملوءة بالماء (Internal pore pressure) عند الضغط بالحمل الخارجى .

حالة سطح العينة وطريقة التحميل :

تزيد مقاومة الخرسانة للضغط بزيادة الضغط الجانبي عليها. كما يظهر فى شكل (٣ / ٥) ، وخشونة سطح العينة تعنى أن الأجزاء العليا والسفلى منها عليها ضغط جانبي نتيجة الاحتكاك مع فكي الماكينة ، كما أن المقاومة للضغط تتأثر بمعدل التحميل حيث تزيد المقاومة كلما كان معدل التحميل أسرع ، وخاصة لمعدلات تحميل أكبر من ٦ طن / سم^٢ فى الدقيقة ، وكلما زادت جودة الخرسانة كلما زاد تأثيرها بسرعة التحميل ، ولذا فقد نصت المواصفات البريطانية (٥) على أن معدل تحميل عينات الخرسانة يكون بين ١٢٠ - ٢٤٠٠ كجم / سم^٢ فى الدقيقة ، حيث يصبح تأثير التغير البسيط فى معدل التحميل طفيفا على المقاومة .

وحيث إن الخرسانة الإنشائية تتعرض للأحمال الدائمة Sustained loads ، فإن تثبيت الحمل أثناء تجربة اختبار الضغط قبل الكسر يؤدي إلى زيادة المقاومة للضغط بنسب قد تصل إلى ٨٥ ٪ حسب نوع الخرسانة وعمرها وقيمة الحمل المثبت وفترة تثبيته ، ولكن ليس هذا هو الاختبار القياسى .



شكل (٣ / ٥) تأثير الضغط الجانبي على مقاومة الخرسانة للضغط (٤)

٢ / ٢ - الانكماش Shrinkage :

إن الانكماش خاصية من خواص الخرسانة التي تتصلد في الهواء ، ولا يمكن منع الانكماش بمعالجة الخرسانة كما هو الاعتقاد السائد عند بعض المهندسين ، وإنما يمكن فقط التقليل من آثاره الضارة ، ويحدث انكماش الخرسانة نتيجة :

أ - هبوط الأجزاء الصلبة في الخلطة وفقد الماء الحر من الخرسانة الطازجة - الانكماش اللدن .

ب - الاتحاد الكيميائي بين الأسمنت والماء - الانكماش الذاتي .

ج - جفاف الخرسانة - الانكماش نتيجة الجفاف .

ولا يسبب الانكماش مشاكل إلا إذا كان هناك قيد على حركة العضو الخرساني ، وهذا القيد على الحركة قد يكون قيوداً داخلياً أو قيوداً خارجياً ، وفي حالة وجود قيد على حركة العضو الخرساني فإن الانكماش سيسبب إجهادات شد داخل الخرسانة مما يؤدي إلى تشققها ، وفي قسم (١ / ١) من الباب الرابع سنتعرض بالتفصيل لشروخ الانكماش اللدن كما سنتعرض لشروخ الانكماش نتيجة الجفاف في قسم (٢ / ١ / ٢) من نفس الباب ، وتقليل الآثار الضارة للانكماش في المنشآت الخرسانية ممكن عن طريق عمل وصلات الحركة Movement joints والعناية بالتفاصيل الإنشائية التي توضح مكان وعدد أسياخ الانكماش .

٢ / ٢ / ١ - الانكماش اللدن Plastic shrinkage :

وهو الانكماش الذي يحدث قبل تصلد الخرسانة ، وسببه فقد الماء الحر من الخلطة وهبوط الأجزاء الصلبة فيها ، وفقد الماء الحر يتم عندما يتبخر الماء من سطح الخرسانة الحديثة الصب بأسرع من معدل الإدماء - نزوح الماء إلى سطح الخرسانة - ولذا فإن الانكماش اللدن يلاحظ أكثر في البلاطات والأعضاء ذات المساحة السطحية الكبيرة المعرضة للجو الحار أو للرياح ، ويؤدي هذا الانكماش في الخرسانة السطحية إلى حدوث شروخ سطحية مائلة بزاوية ٤٥° على حروف البلاطة أو موازية لها أو موزعة توزيعاً غير منتظم - انظر شكل (٢ / ٤) بالباب الرابع .

ومنع شروخ الانكماش اللدن تكون بتقليل الفاقد من الماء السطحي عن طريق المعالجة المبكرة والفعالة كما سيناقش تفصيلاً في قسم (٢ / ١ / ١) من الباب السابع .

٢ / ٢ / ٢ - الانكماش الذاتى Autogenous Shrinkage :

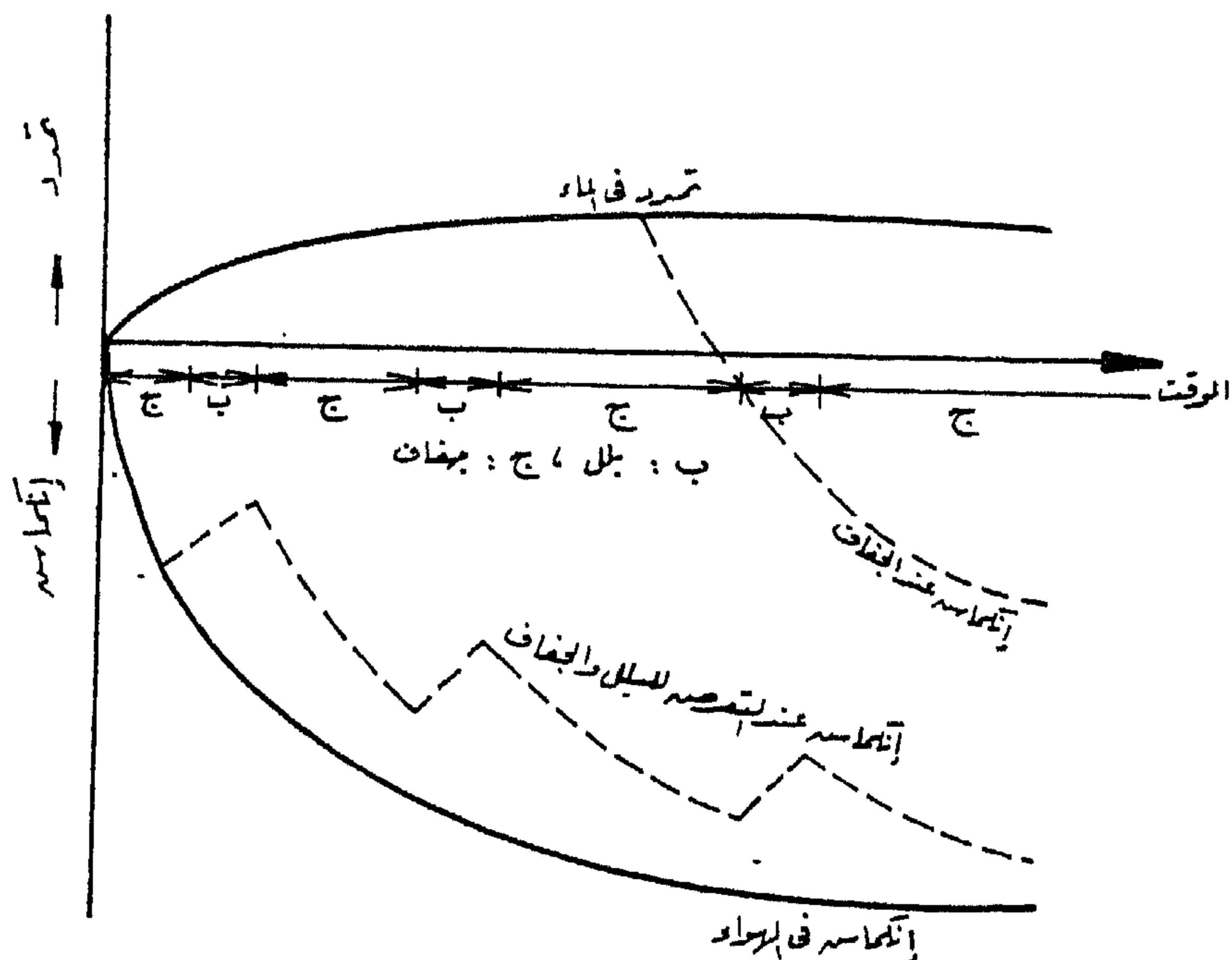
عندما تبدأ عملية الإماهة Hydration - تفاعل الأسمنت والماء - فسيحدث نقص فى حجم المونة ؛ لأن المونة المتصلدة حجمها أقل من مجموع حجمى الماء والأسمنت فى الخلطة ، وعندما تتم الإماهة حيث محتوى الماء ثابت - مثلاً فى وسط كتلة كبيرة من الخرسانة - فإن نقص حجم مونة الأسمنت يؤدي إلى انكماش الخرسانة الداخلية ، وهو ما يعرف بالانكماش الذاتى لأنه يحدث ذاتياً نتيجة عملية الإماهة ولكن إذا تمت معالجة الخرسانة تحت الماء فإن الماء الداخلى فى تفاعلات الإماهة يتم استعاضته من الماء الخارجى وتمتص العجينة الأسمنتية ماء زائداً مما يؤدي إلى زيادة طفيفة فى حجم الخرسانة ، وليس انكماشاً - شكل (٣ / ٦) - أما الخرسانة التى تعالج فى الهواء أو تترك بدون معالجة فلا يتم استعاضة الماء الداخلى فى التفاعل ، ولكن على العكس يسحب الماء من العجينة المتصلدة ويحدث انكماش إضافي - هو الانكماش نتيجة الجفاف .

وتؤثر مجموعة من العوامل على قيمة الانكماش الذاتى ، منها : التركيب الكيميائى للأسمنت ، وكمية الماء فى الخلطة ، ودرجة الحرارة ، وقد تصل قيمة الانكماش الذاتى إلى 100×10^{-6} ، ٧٥ ٪ منها تحدث فى الأشهر الثلاثة الأولى .

٢ / ٢ / ٣ - الانكماش عند الجفاف Drying shrinkage :

عندما تتعرض الخرسانة المتصلدة - المعالجة فى الماء - للجفاف فإنها تفقد أولاً الماء الموجود فى الفجوات والشقوق الشعرية الداخلية ، ولا تبدأ فى الانكماش إلا إذا استمر الجفاف بحيث تفقد الماء الموجود بالعجينة المتصلدة ذاتها ، وهو ما يعرف بالانكماش نتيجة الجفاف ، ومن ناحية القيمة فقد يصل هذا الانكماش فى بعض أنواع الخرسانات إلى 150×10^{-6} ، ولكن فى الخرسانة الإنشائية لا يسمح فى تصميم الخلطة أن يزيد الانكماش عن 80×10^{-6} ، ومن أهم وظائف الركام تقليل انكماش مونة الأسمنت ، ومن ناحية الوقت فإن الانكماش نتيجة الجفاف يبدأ بمعدلات عالية ويستمر لمدة طويلة ، ولكن بمعدل يتناقص باستمرار - شكل (٣ / ٦) ، ويمكن افتراض أن نصف الانكماش الكلى نتيجة الجفاف يحدث فى السنة الأولى .

والخرسانة التى تتعرض لدورات من البلل والجفاف تصل إلى نفس مستوى انكماش الخرسانة المتروكة فى الهواء ولكن بعد فترة طويلة تكون مقاومة الخرسانة لإجهادات الشد قد وصلت فيها إلى قيم عالية .



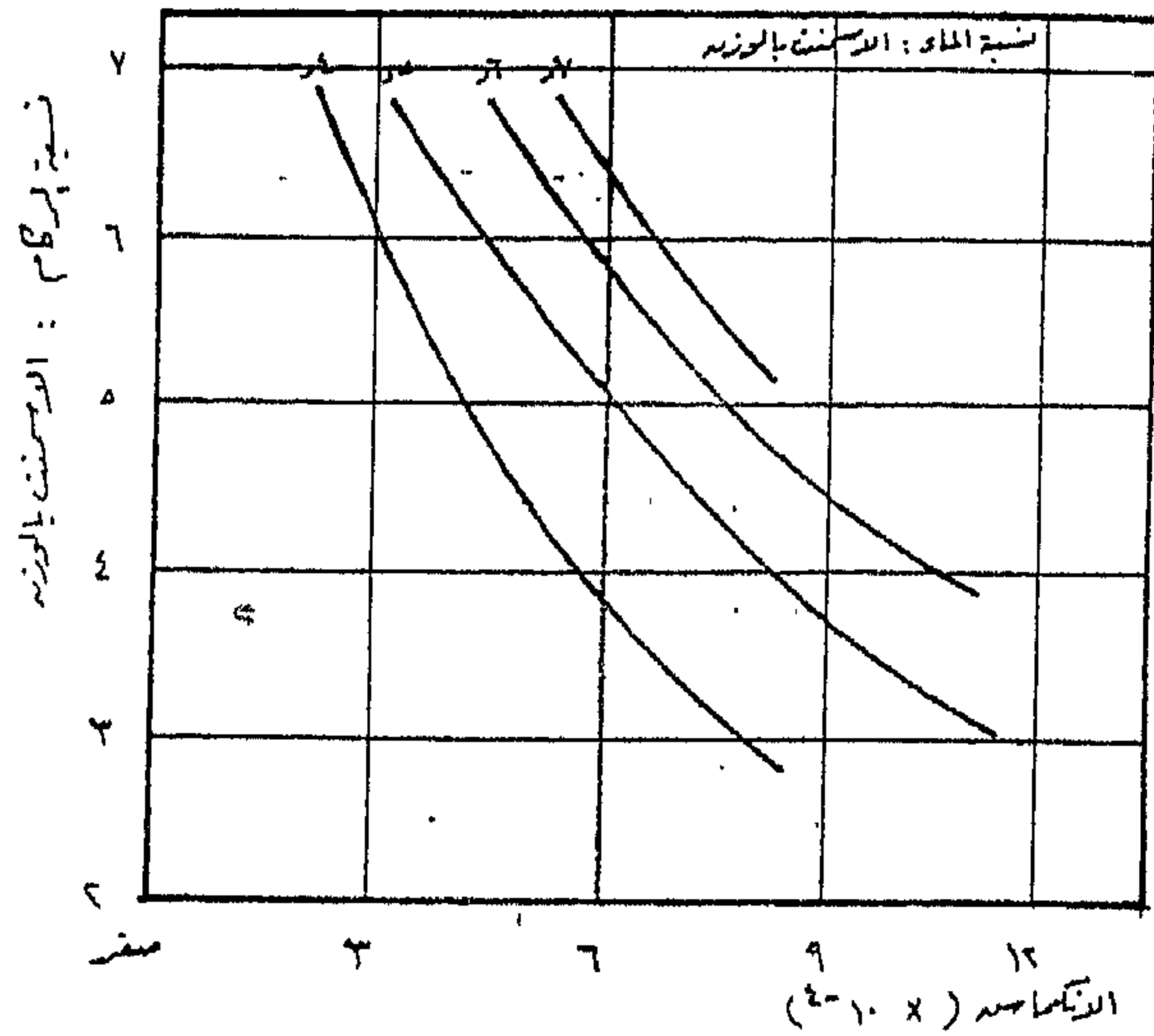
شكل (٣ / ٦) تمدد وانكماش الخرسانة عند وجودها في الماء أو الهواء (٤)

العوامل التي تؤثر على الانكماش عند الجفاف :

أ- تأثير مكونات الخلطة :

كل مكونات الخلطة الخرسانية تؤثر على الانكماش ، سواء بطريقة فردية أو نتيجة لهم جميعا ، فنوع وكمية ونسب مكونات الخلطة لها تأثيرها ، وانكماش خلطة معينة يتأثر أيضا بعوامل أخرى مثل درجات الحرارة التي سبق للخرسانة التعرض لها وطرق المعالجة ورطوبة الجو المحيط ، كما أن شكل وحجم العضو الخرساني - نسبة الحجم إلى المسطح المعرض للهواء - وكمية وتوزيع أسياخ صلب التسليح فيه لها تأثير على الانكماش كذلك .

وبوجه عام فإن الانكماش يتناسب طرديا مع كمية الماء بالخلطة ، ويتناسب عكسيا مع كمية المركام بها - انظر شكل (٣ / ٧) (٧) .



شكل (٧ / ٣) تأثير نسبة الماء : الأسمنت ، ونسبة الركام : الأسمنت على الانكماش نتيجة الجفاف (٧)
(درجة حرارة ٢٠م ودرجة رطوبة ٥٠٪)

الماء :

الانكماش عند الجفاف يحدث أصلاً نتيجة فقد الماء للجو المحيط ، وكلما كان هناك ماء أكثر متاح للتبخر كلما زادت إمكانية الانكماش أثناء الجفاف ، وعلى ذلك فكمية الماء في الخلطة - وليس نسبة الماء إلى الأسمنت - هي العامل الأكثر تأثيراً على انكماش الخرسانة .

الأسمنت :

أهمية الأسمنت بالنسبة للانكماش ترجع فقط إلى أن كميته ونعومته تؤثر على كمية الماء في الخلطة ، وعلى عكس ما هو متوقع فإن درجة نعومة الأسمنت ليس لها تأثير على الانكماش إذا كانت المساحة السطحية أكبر من ٣٥٠ م^٢ / كجم - جدول (٧ / ٣)^(٨) .

الركام :

كلما زادت كمية الركام كلما زاد تأثير الركام على تقليل الانكماش الكبير لمونة الأسمنت ، وكذلك فإن استعمال ركام ذي مساحة سطحية أقل ما يمكن يساعد على تقليل محتوى الماء في الخلطة ، وبالتالي يعمل على تقليل الانكماش .

ب - تأثير درجة حرارة ورطوبة الجو :

إن درجة حرارة الجو المحيط ودرجة رطوبته لهما تأثير كبير على كل من معدل وقيمة الانكماش ، فكلما قلت نسبة الرطوبة كلما زاد معدل وكمية الفاقد من الماء إلى سطح الخرسانة ، مما يؤدي إلى زيادة الانكماش ، ونفس التأثير تحدثه زيادة درجة حرارة الجو ، وعمليا يصعب التحكم في نسبة رطوبة أو حرارة الجو المحيط عند صب الخرسانة ، وإنما يمكن تخفيف تأثيرهما على الانكماش باتباع المعالجة السليمة .

ج - معالجة الخرسانة :

تلعب معالجة الخرسانة أحيانا دوراً مزدوجاً ، إذ أنها تعمل على تقليل الفاقد الحرارى وبالتالي تقلل فروق الحرارة فى الأعضاء الضخمة ، كما أنها تقلل فى نفس الوقت الفاقد من ماء الخرسانة ، ورغم أن الاعتقاد السائد بين المهندسين : أن الهدف الرئيسى من معالجة الخرسانة هو تقليل انكماشها ، فإن ذلك غير صحيح ، فالعضو الخرسانى سينكمش عند جفافه بنفس الدرجة مهما كان وقت بداية وظول مدة المعالجة ، ولكن تأثير معالجة الخرسانة المفيد هو زيادة قدرة الخرسانة على الانفعال للشد - انظر قسم ٣ / ١ / ٢ - وفى نفس الوقت فإنها تبطئ من معدل الانكماش فى فترة المعالجة مما يقلل من احتمالات التشقق .

الانكماش نتيجة الجفاف $\times 10^{-4}$		المساحة السطحية للأسمنت ٢م / كجم	مدة المعالجة الرطبة باليوم
م / س = ٤٥ ،	م / س = ٣٧٥ ،		
٥,٢	٤,٦	٢٨٠	١
٦,٨	٥,٤	٤٩٠	
٦,٩	٥,٤	٧٤٠	
٢,٨	٣,٨	٢٨٠	٢٨
٤,٦	٤,٦	٤٩٠	
٧,٤	٤,٢	٧٤٠	

جدول (٣ / ٧) تأثير نعومة الأسمنت على الانكماش نتيجة الجفاف بعد ٥٠٠ يوم

(نسبة الركام إلى الأسمنت = ٣) (٨)

د - حجم وشكل العضو الخرساني :

إن حجم وشكل العينة يؤثر على معدل انتقال الرطوبة داخل الخرسانة ، وبالتالي فهو يؤثر على معدل التغير الحجمي لها ، وحيث إن الجفاف - فقد الرطوبة - يبدأ من السطح ، فإن ذلك يعني أنه كلما زادت المساحة السطحية لكل وحدة كتلة كلما زاد معدل انكماش العضو ، فالعضو الضخم السميك يستطيع الاحتفاظ بكمية من الماء أكبر من تلك التي تستطيع بلاطة رفيعة الاحتفاظ بها ، وبالنسبة لشكل معين فإن المعدل المبدئي للانكماش يزداد كلما كان حجم العينة أكبر ؛ لأن معدل فقد الرطوبة يقل بسرعة مع زيادة المسافة من السطح .

هـ - التسليح :

تنكمش الخرسانة المسلحة بدرجة أقل من انكماش الخرسانة العادية نظراً لأن صلب التسليح يسبب قيلاً على الحركة ، وعلى ذلك فليست وظيفة أسياخ الانكماش مقاومة لإجهادات الشد الناتجة عن الانكماش ، وإنما يقلل من الانكماش نفسه كذلك .

٢ / ٣ - المسامية والنفاذية Porosity and permeability :

تحدث المسام الداخلية بعجينة الأسمنت نتيجة عملية الإماهة ، ولا تصبح الخرسانة منفذة للماء أو الهواء إلا إذا اتصلت هذه المسام بأنابيب دقيقة أو مسارات شعيرية ، وتؤثر نفاذية الخرسانة تأثيراً كبيراً على تحملها مع الزمن ، فوصول الماء والهواء إلى صلب التسليح يسبب الصدأ ، ووصول الأملاح والمواد الكيميائية إلى الخرسانة الداخلية يسبب تدهورها ، كما أن مسامية الخرسانة ضارة في الأجواء الباردة ، إذ تمتلئ هذه المسام بالماء الذي يتجمد عند انخفاض درجة الحرارة إلى ما دون الصفر المئوي مسبباً شروخ التجمد والذوبان - انظر قسم (٢ / ٣ / ١) من الباب السابع .

ولابد من التفرقة بين المسامية والنفاذية بفهم طبيعة كل منهما والأسباب المؤدية إلى أن تصبح الخرسانة كثيرة المسام أو قليلة المسام ، شديدة النفاذية أو غير منفذة .

٢ / ٣ / ٤ - الفرق بين المسامية والنفاذية :

إن البناء الداخلي (cement matrix) لعجينة الأسمنت يحتوي على مسام دقيقة

نتيجة التفاعلات الكيميائية التي تصاحب إماهة الأسمنت والماء ، ولكي تصبح الخرسانة منفذة للسوائل أو الهواء فلا بد من اتصال هذه المسام على هيئة أنابيب دقيقة متقاطعة ، وعلى ذلك فالمسام المحدودة العدد المعزولة عن بعضها البعض لن تؤدي إلى نفاذ الماء أو الهواء - شكل (٣ / ٨) (٩) - ويؤثر حجم واتساع المسام الداخلية على النفاذية ؛ لأنه كلما ضاقت هذه المسام كلما زاد الضغط اللازم لدفع السائل - عادة الماء - لينفذ عبر هذه المسام ، ولهذا يجب التفرقة بين المسام الهوائية والشعرية (capillary pores) والجيلاتينية (Gel pores) .

٢ / ٣ / ٢ - أنواع المسام الداخلية :

هناك ثلاثة أنواع من المسام الداخلية هي الهوائية والشعرية والجيلاتينية ، والمسام الهوائية الصغيرة عادة ما يتم تكوينها صناعيا داخل جسم الخرسانة عن طريق إضافات الهواء المحبوس لزيادة القابلية للتشغيل وتحسين المقاومة للصقيع ، أما المسام الهوائية الكبيرة غير المنتظمة فتتسبب عن عيوب الصب والدمك للخلطة الخرسانية ، والمسام الهوائية يتراوح قطرها بين ٠,٠١ - ٠,٢ مم .

المسام الشعرية والجيلاتينية تنشأ عن عملية الإماهة - تفاعل الأسمنت والماء - وتكون أصغر بكثير من المسام الهوائية - جدول رقم (٣ / ٨) (٩) .



مسامية منخفضة ولكن نفاذية عالية



مادة مسامية ولكن غير منفذة



مادة مسامية منفذة



مسامية عالية ولكن نفاذية منخفضة

شكل (٣ / ٨) توضيح لخاصتى المسامية والنفاذية (٩)

نوع المسام	القطر (مم)	الوصف	الخاصية التى تتأثر بها
جيلاتنية Gel pores	٠,٥ - ١٠ × ١٠ - ٦	صغيرة ميكروسكوبية	الانكماش الانكماش / الزحف
شعرية Capillary	٠,٥ - ١٠ × ١٠ - ٣ ١٠ - ٥٠ × ١٠ - ٦	كبيرة متوسطة	المقاومة / النفاذية المقاومة / النفاذية / الانكماش
هوائية	٠,١ - ٠,٢	كبيرة جدا	المقاومة / النفاذية

جدول (٣ / ٨) المسام الداخلية - حجمها وتأثيرها على خواص الخرسانة (٩)

٢ / ٣ / ٣ - العوامل المؤثرة على المسامية والنفاذية :

أ - تأثير نسبة الماء / الأسمنت :

تعتمد نفاذية ومسامية عجينة الأسمنت المتصلدة على نسبة الماء : الأسمنت (م / س) ، بدرجة كبيرة - كما يظهر من شكل (٩ / ٣) وشكل (١٠ / ٣) - ولا بد من فهم دور الماء في العجينة الأسمنتية لتحديد تأثير نسبة (م / س) معينة ، فبعد خلط الأسمنت والماء معا مباشرة يحدث تكتل لحبيبات الأسمنت والماء ويسمى الماء المحصور في الفراغات داخل هذا التكتل بالماء الشعري (Capillary water) حتى يحدث له تفاعل كامل مع الأسمنت ، ويحتاج الأسمنت إلى ربع وزنه ماء لإتمام هذا التفاعل ، كما يحتاج إلى ١٠ ٪ من وزنه ماء آخر لتكوين عجينة الأسمنت الجيلاتينية ، ولذا يسمى هذا الماء الإضافي بالماء الجيلاتيني (Gel water) ولزيادة القابلية للتشغيل تزداد نسبة (م / س) عن ٤ ، المطلوبة للإمالة وتكوين العجينة ، هذا الماء الزائد بالإضافة إلى الماء الجيلاتيني هو الذى يسبب زيادة المسام الشعرية عند تبخره ، ولهذا فكلما زادت نسبة (م / س) كلما زادت النفاذية - شكل (١٠ / ٣) .

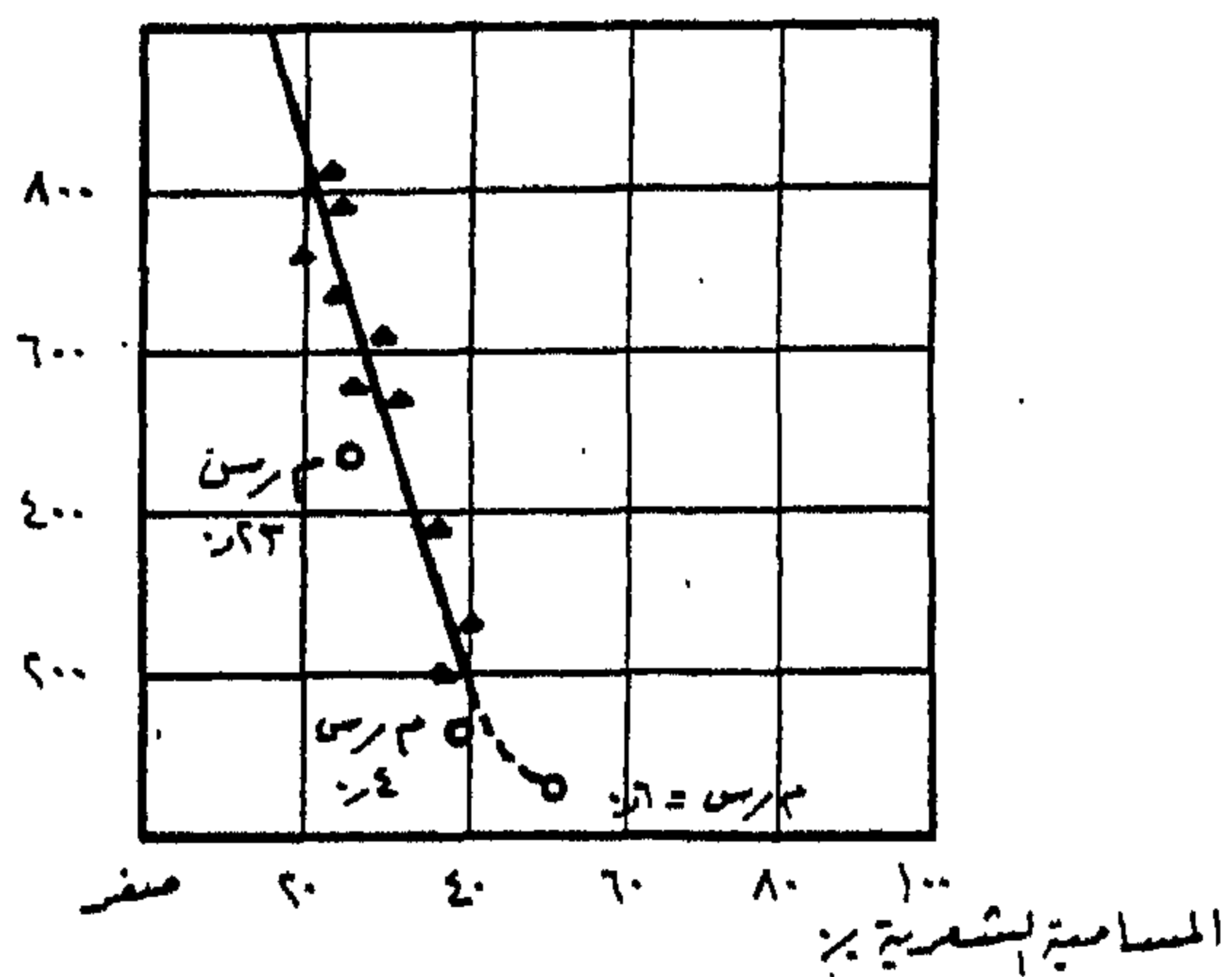
وبعد عملية الإمالة تتصلد العجينة الأسمنتية مكونة جسماً صلباً متجانساً (Cement gel) ، هذا الجسم الصلب به ٢٥ ٪ من حجمه فراغات داخلية (المسام الجيلاتينية Gelpores) شكل (١١ / ٣) - والمسامية الكلية تعتمد أساساً على المسام الشعرية الأكبر حجماً ، وتعتمد بدرجة أقل على المسام الجيلاتينية الدقيقة ، هذه المسامية الكلية هي التى تحدد مقاومة الخرسانة للضغط - شكل (٩ / ٣) .

ب - استعمال الإضافات :

- ١ - لتقليل نسبة الماء : الأسمنت ، بحيث تقل كمية الماء فى الخلطة .
- ٢ - لزيادة نسبة الهواء المحبوس ، لتحسين مقاومة الخرسانة لدورات التجمد والذوبان .
- ٣ - لتعديل تكون بللورات هيدرات سليكان الكالسيوم (Calcium Silicate Hydrates C - S - H) أثناء عملية الإمالة ، وبالتالى تعديل التكوين الداخلى للمسام الجيلاتينية .

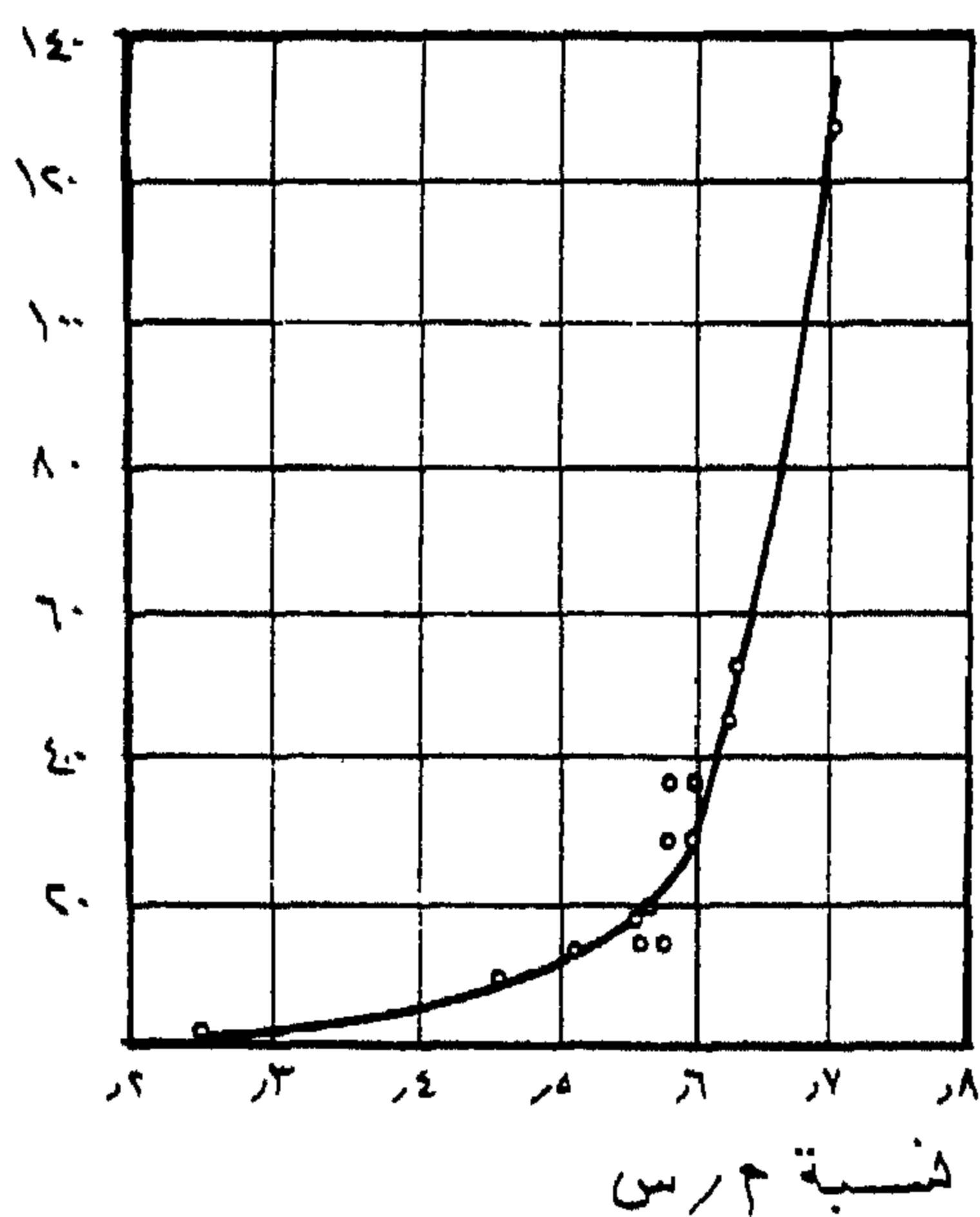
المقاومة (كجم/سم²)

مقاومة بالملعب
م ٥٠ × ٥٠ × ٥٠

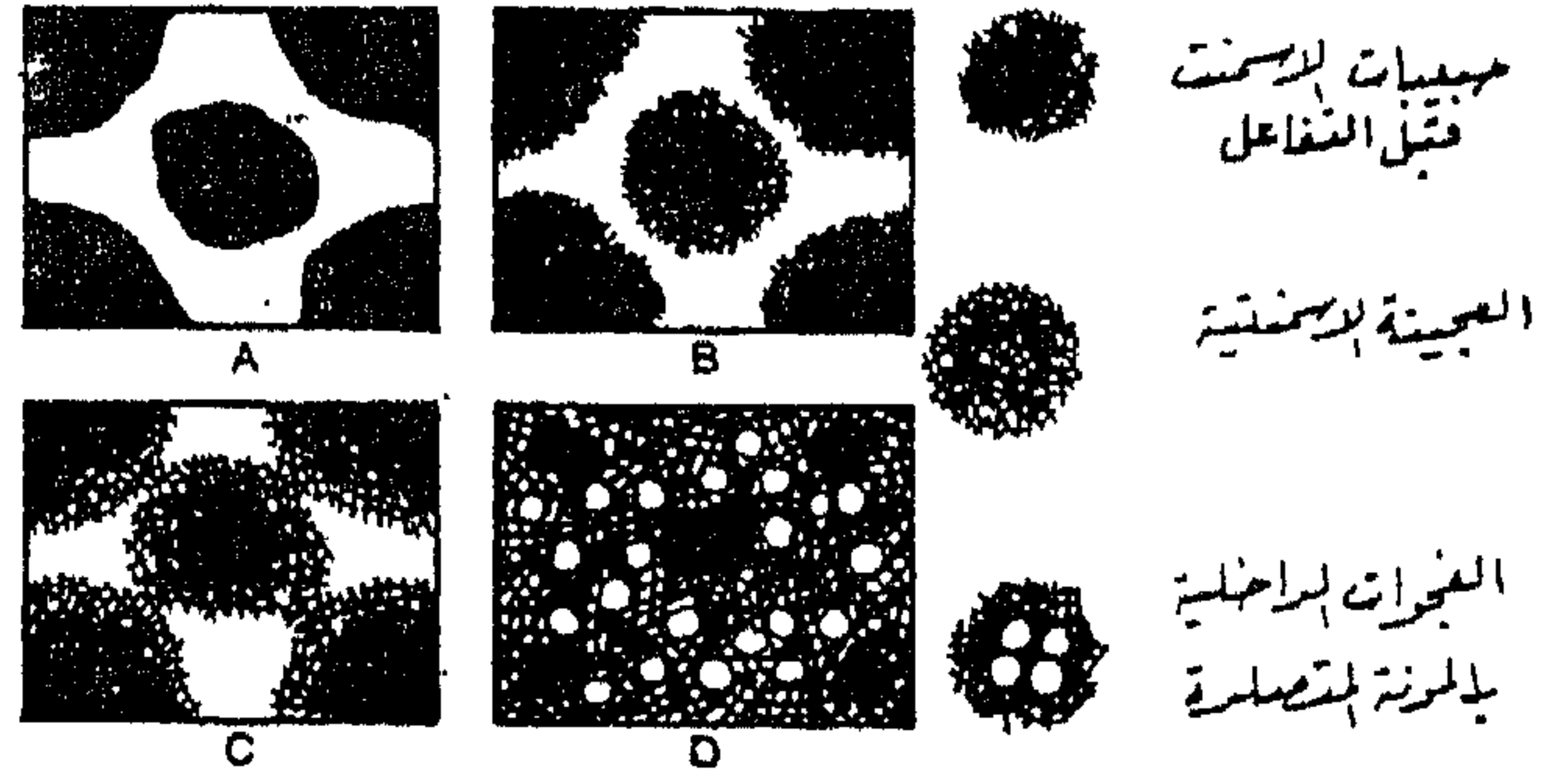


شكل (٩ / ٣) تأثير نسبة م / س على النفاذية والمقاومة (٩)

النفاذية
سم/ثانية
١٠ × ١٠

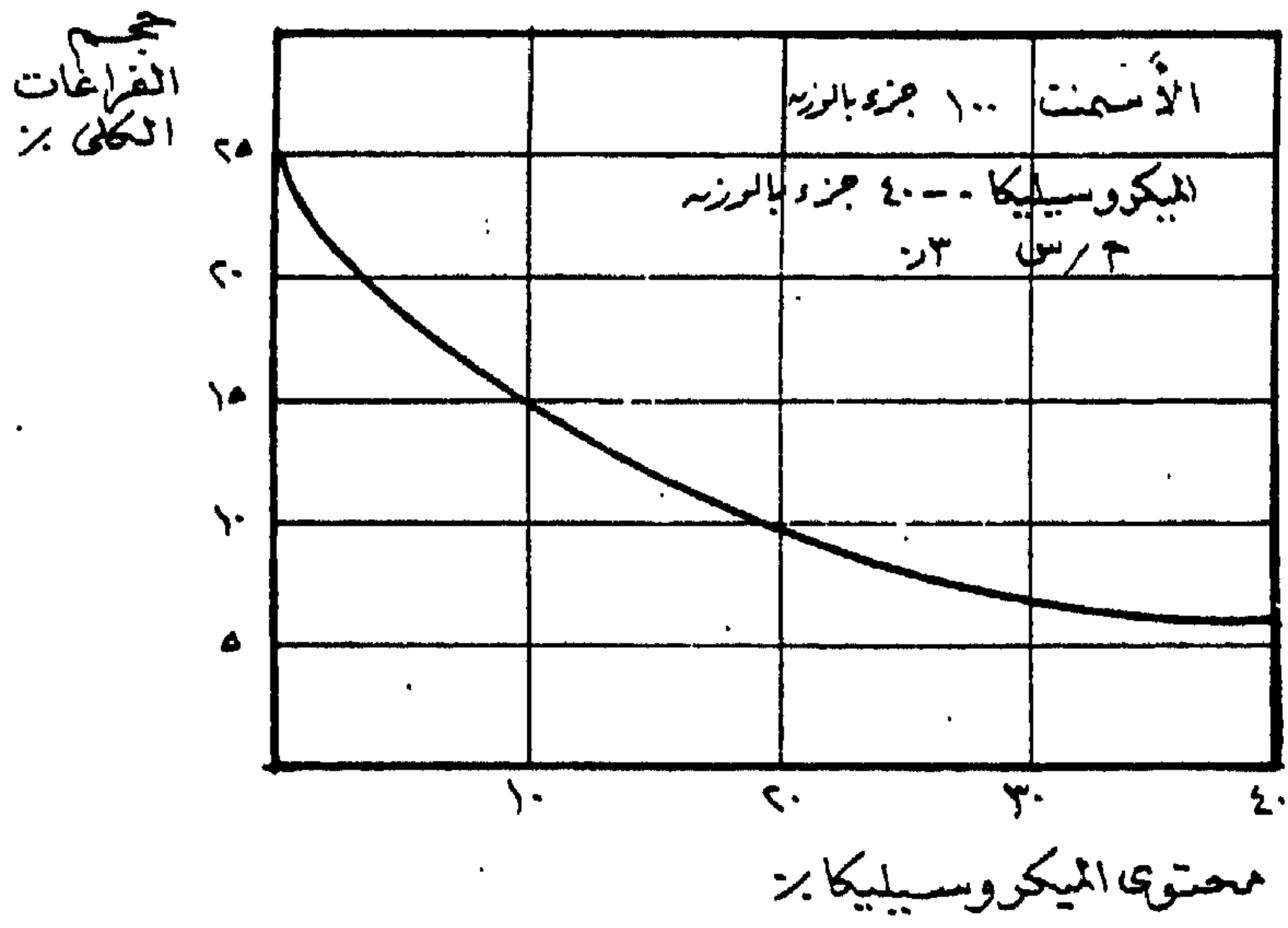


شكل (١٠ / ٣) العلاقة بين نسبة الماء : الأسمنت والنفاذية لعجينة الأسمنت المتصلدة



- ١- بعد الخلط مباشرة ٢- التفاعل مع الماء لمرحلة - مثله ابتداءً
٣- تكوّن لبناء لمرحلة - تصلب ابتداءً ٤- استكمال العجينة - تصلب نهائياً

شكل (١١ / ٣) تفاعل الأسمنت مع الماء . (الإماهة)



شكل (١٢ / ٣) تأثير الميكروسيليكاز على مسامية عجينة الأسمنت

جـ - المعالجة :

إن المعالجة السيئة للخرسانة تؤدي إلى زيادة البخر ، وبالتالي زيادة المسام الشعرية والهوائية التي يتبخر منها الماء ، كما قد تؤدي إلى حدوث شروخ الانكماش اللدن - انظر قسم (١ / ١) من الباب الرابع - التي تزيد المسامية والنفاذية .

د - استعمال مواد بوزولانية Pozzolanic material :

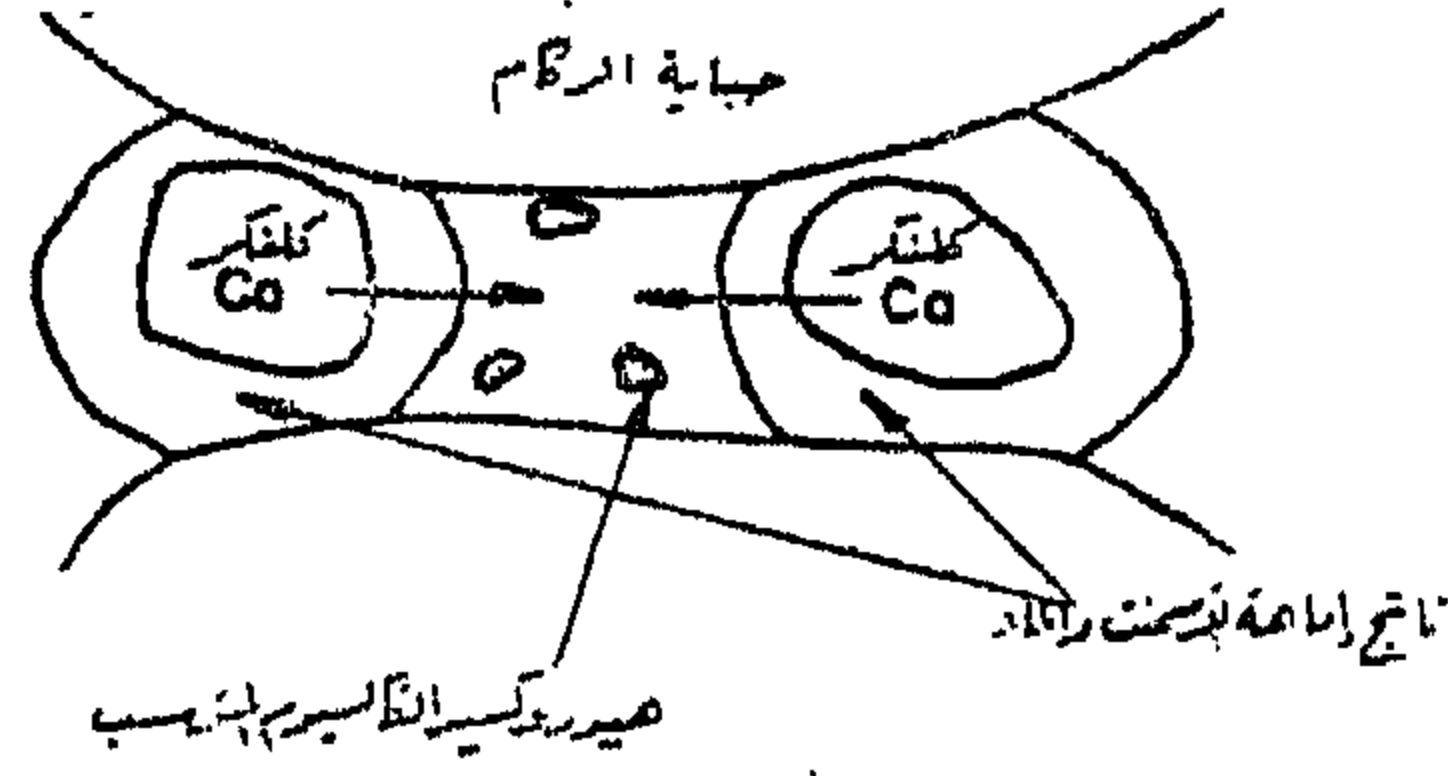
وذلك للتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم الذي يتحرر عند الإماهة مكونا سيليكات وألومينات الكالسيوم غير القابلة للذوبان ، والتي تعمل على سد الفجوات الداخلية والمسام الشعرية .

ومن أمثلة هذه المواد البوزولانية : الميكروسيليكا ، وهي مادة تتكون من حبيبات دقيقة جدا - حوالى واحد من عشرة آلاف من المم - ومساحتها السطحية أربعة أمثال المساحة السطحية للأسمنت العادى - ١٥٠٠ - ٢٠٠٠ م^٢ / كجم - وهي تتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم مكونة هيدرات سيليكات الكالسيوم الثابتة فى العجينة الجيلاتينية (Gel) والتي تقلل الفجوات الداخلية والمسام الشعرية - كما يظهر من شكل (١٢ / ٣) .

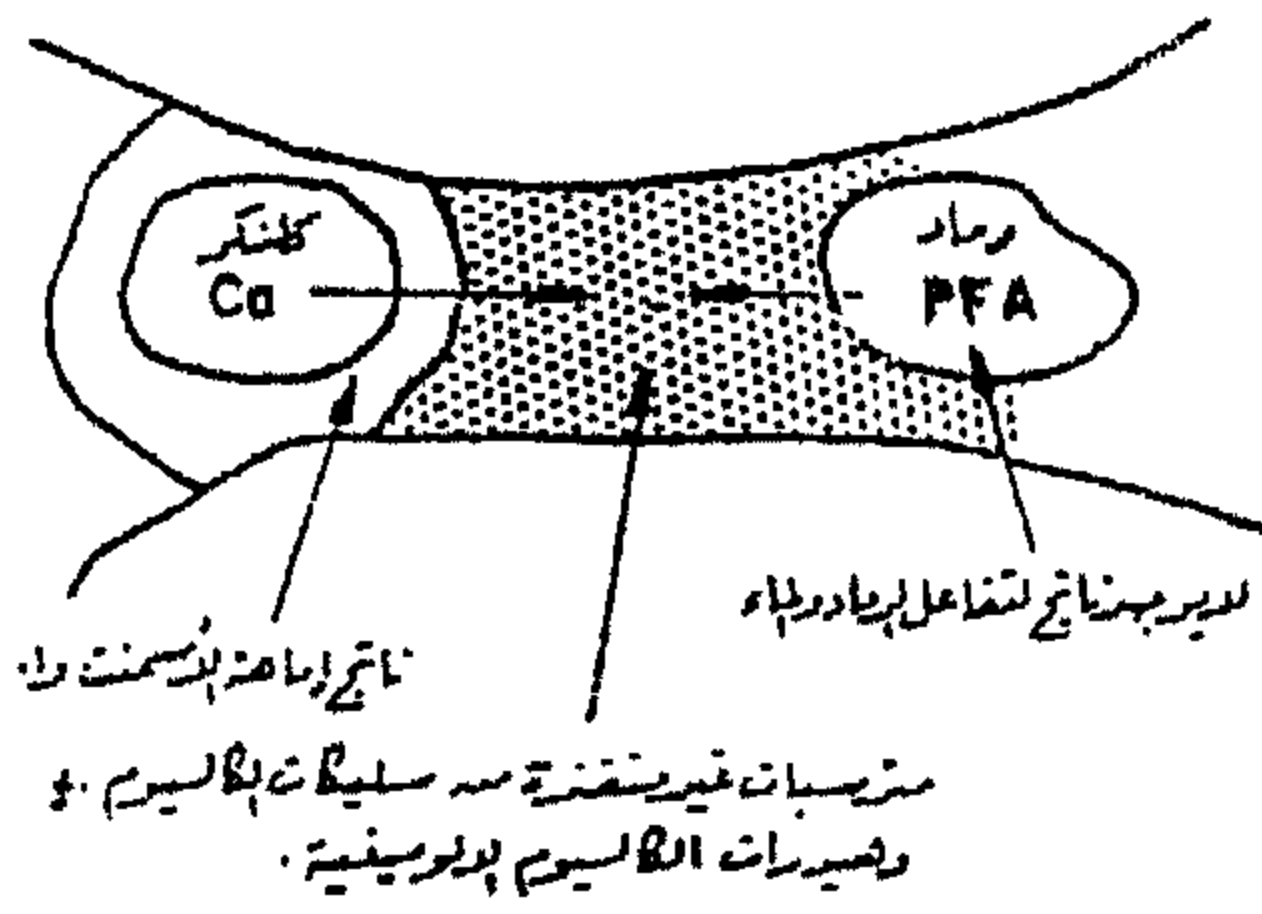
والميكرو سيليكات هي ناتج ثانوى فى صناعة سبائك السيليكون والفروسيلكون Ferro silicon ، ومن المواد الأخرى التى تستعمل فى تقليل الفجوات الداخلية وسدها مسحوق الرماد (Pulverised Fuel Ash - PVA) وخبث الأفران المطحون (Ground Granulated Blast Furnace slag - GGBFS) وتأثيرها مبين فى شكل (١٣ / ٣) .

هـ - حرارة الإماهة :

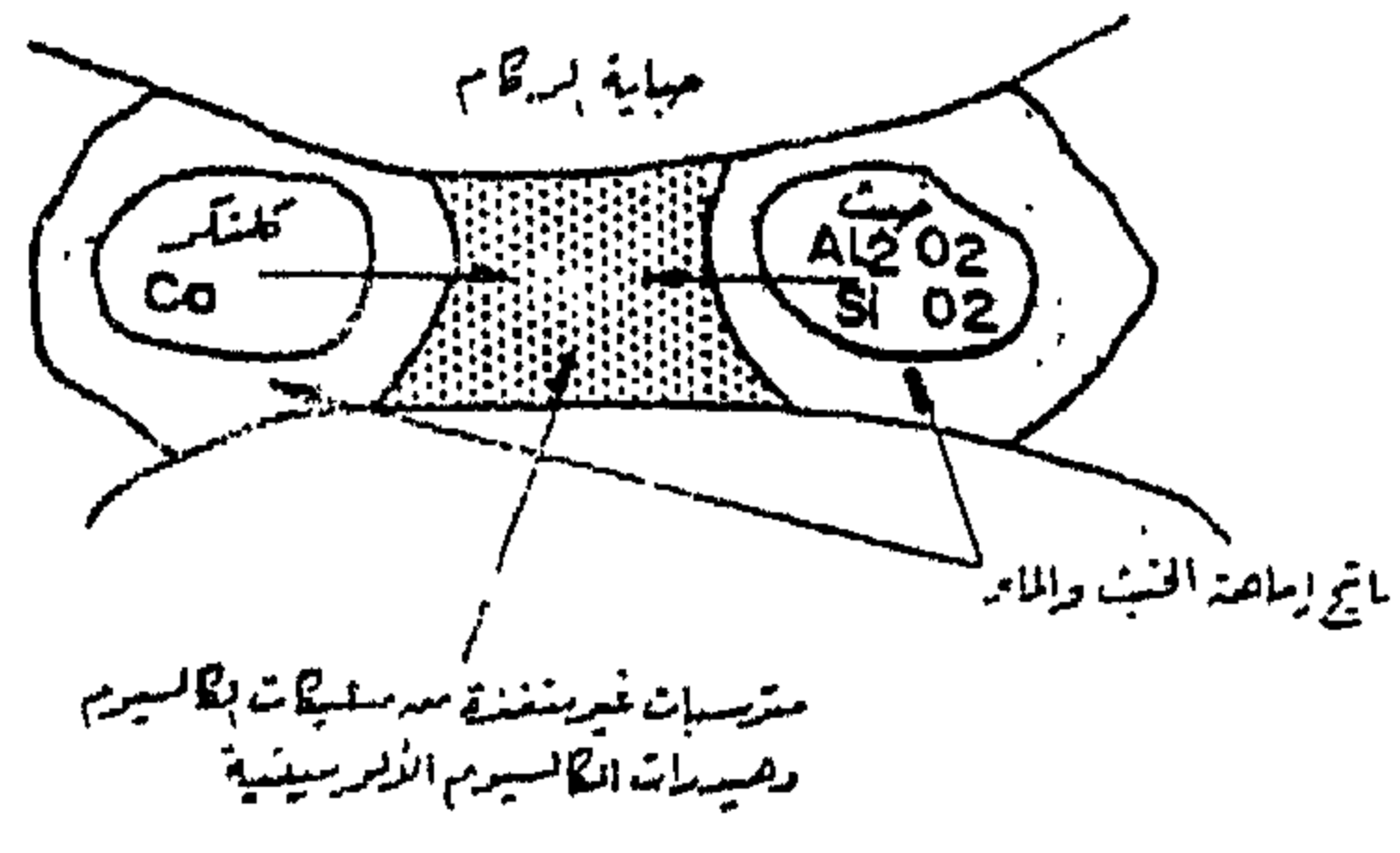
قد تؤدي الحرارة المصاحبة لعملية الإماهة إلى حدوث شروخ ميكروسكوبية فى عجينة الأسمنت ، مما يؤدي إلى اتصال الفجوات الداخلية وزيادة النفاذية ، واستعمال الألياف (Fibers) يوقف امتداد الشروخ ؛ لأن هذه الألياف تعمل كتسليح شد عشوائى التوزيع وهذه الألياف قد تكون معدنية أو زجاجية أو من النايلون والبولي بروبيلين .



١- عملية الإزاحة للأسمت البوريت لاندی العادی



٢- عملية الإزاحة للخرسانة المحتوية على رماد



٣- عملية الإزاحة للخرسانة المحتوية على حث الأفران

شكل (٣ / ١٣) إزاحة الأسمنت العادی والأسمنت المضاف إليه مواد بوزولانية

النتيجة	ميكانيكية التأثير	العامل	
الصدأ - تفتت الخرسانة شروخ عند التجمد أو وجود قيد على الحركة شروخ في وجود قيد على الحركة انتفاخ - شروخ - تساقط شديد Popouts	نفاذ الرطوبة والسوائل الضارة الانتفاخ تمدد وتقلص - انكماش عند الجفاف تفاعل مع السيليكا والكربونات انتفاخ الطين والطفلة	النفاذية Permeability الامتصاص Absorption التغيرات الحجمية تلوث الركام وتفاعله مع القلويات	عوامل داخلية
شروخ وتدهور سطحي انحناء وشروخ في وجود قيد على الحركة	انتفاخ إجهادات حرارية	دوران التجمد والذوبان التغير في درجة الحرارة	عوامل جوية
صدأ - تشرخ الخرسانة صدأ - تشرخ الخرسانة تقشر Scaling صدأ - تشرخ الخرسانة صدأ - تشرخ الخرسانة صدأ متقطع تفتت الخرسانة disintegration زيادة الترخيم - الانهيار	فقد القاعدية التحول الكربوني Carbanation سحب الحرارة Heat extraction تكون الأحماض فقد القاعدية فقد الحماية السالبة dipassivation التفاعل مع مكونات الخلطة نقص مساحة الأسطح الفعلية	الأحماض ثاني أكسيد الكربون أملاح إذابة الجليد السكر والجلسرين الماء غير العسر Soft water الكلوريدات الكبريتات صدأ الحديد	عوامل كيميائية
تدهور السطح تدهور السطح تعرية السطح خشونة السطح وتآكله	تآكل فجوات سطحية تآكل برى	المياه السريعة المياه المضطربة Turbulent الرياح المحملة بالرمال الاحتكاك مع المركبات	عوامل تعرية
تشرخ - انهيار	كلال	الأحمال المتغيرة	أحمال

جدول (٣ / ٩) العوامل التي تؤثر عكسيا على تحمل الخرسانة مع الزمن

٢ / ٤ - التحمل مع الزمن Duralility :

بالإضافة إلى قدرة المنشأ الخرساني على تحمل الأحمال بأمان ، فالمطلوب منه كذلك أن يتحمل الظروف المحيطة لفترة من الزمن تسمى العمر الافتراضي للمنشأ ، ويمكن تعريف التحمل مع الزمن بأنه مقاومة الخرسانة للتدهور نتيجة عوامل خارجية أو داخلية - جدول رقم (٣ / ٩) - والتدهور يتراوح بين فقدان المظهر - شروخ - إلى فقدان الراحة - ترخيم زائد - إلى عدم أداء الوظيفة بكفاءة (unserviceability) إلى فقدان معامل الأمان للأعضاء الإنشائية . والعوامل الخارجية تشمل تأثير الجو المحيط بالمنشأ وظروف التشغيل والتحميل ، أما العوامل الداخلية فتعني التفاعل بين مواد الخرسانة والتغيرات الحجمية التي تحدث لها ونفاذ السوائل فيها .

والخرسانة المسلحة من المواد المشهود لها بالتحمل مع الزمن ، ولكن ظهور ظروف تشغيل قاسية مع عيوب صناعة وصب الخرسانة أدى إلى حدوث تدهور لكثير من المنشآت الخرسانية حتى صار العمر الفعلي ثلث العمر الافتراضي للمباني الخرسانية في بعض مناطق الخليج العربي ، ودراسة ميكانيكية تأثير العوامل التي تهاجم الخرسانة وكيفية تأثير الخرسانة بها هام لزيادة قدرة الخرسانة على مقاومة هذه العوامل .

٢ / ٤ / ١ - العوامل الداخلية :

أ - النفاذية :

ونفاذية الخرسانة تعني سهولة مرور السوائل بها ، هذه السوائل تقلل من عمر الخرسانة ؛ لأن وصول الرطوبة إلى صلب التسليح يؤدي إلى الصدأ ، ودخول الأحماض والأملاح يؤدي إلى تدهور الخرسانة ، كما قد تعني نفاذية الخرسانة في بعض الأحوال عدم أداء المنشأ لوظيفته كما في حالة الخزانات المحتوية على سوائل أو حوائط البدرومات والمنشآت تحت الأرض ، ففي مثل هذه المنشآت تصبح عدم نفاذية الخرسانة خاصية مطلوبة كمقاومتها للأحمال وأكثر .

ولزيادة تحمل الخرسانة مع الزمن لابد من تقليل النفاذية ، والخرسانة بطبيعتها مادة مسامية - كما سبق توضيحه في قسم ٢ / ٣ - واتصال الفجوات الداخلية هو الذي يؤدي إلى زيادة النفاذية ، وتقليل النفاذية ممكن عن طريق تخفيض نسبة الماء إلى الأسمنت واستخدام أسمنتات ناعمة وركام صلد غير منفذ ، كما أن تحاشي الانفصال الحبيبي عند الصب والدمك الجيد والمعالجة المناسبة تقلل من نفاذية الخرسانة .

ب - الامتصاص :

ويجب عدم الخلط بين الامتصاص والنفاذية حيث إن الامتصاص هو قدرة الخرسانة على سحب الماء داخل فجواتها ، والامتصاص ليس بالضرورة مرتبطاً بالنفاذية ، ويؤدي الامتصاص إلى انتفاخ الخرسانة ، كما يؤدي إلى تفتتها عند تعرضها لدورات التجمد والذوبان وهي مشبعة بالماء بنسبة ٨٠ ٪ .

ج - التغيرات الحجمية :

العوامل الأساسية المسؤولة عن حدوث تغيرات حجمية للخرسانة هي :

١ - التفاعل الكيميائي بين الماء والأسمنت .

٢ - الانكماش اللاحق عند جفاف الخرسانة .

٣ - التغير في درجات الحرارة .

٤ - التعرض لدورات البلل والجفاف .

وعندما لايسمح للتغيرات الحجمية بالحركة نتيجة قيد داخلي أو خارجي ، فإن الشروخ عادة ما تظهر وتقل القدرة على مقاومة النزف Leaching وصدأ الحديد وهجوم الكبريتات والكيماويات ، أى تقل قدرة الخرسانة على التحمل مع الزمن ، وكلما زاد القيد على الحركة كلما زاد التشرخ ، وقد يؤدي التشرخ الحاد إلى تفتت كامل (Disintegration) للخرسانة السطحية خاصة إذا كان مصحوباً بدورات من التمدد والتقلص .

د - تفاعل الركام مع القلويات :

هناك أنواع من الركام تتفاعل مع الخرسانة كمادة قلوية ، مما يؤدي إلى تمدد الركام وانتفاخه وتشرخ الخرسانة وتفتتها ، والنوع الشائع هو تفاعل القلويات مع السيليكا النشطة الموجودة في بعض أنواع الركام كالحجر الجيري السيليسي وبعض الصخور البركانية ، والمادة الجيلاتينية الناتجة من هذا التفاعل (Gel) قادرة على امتصاص كميات كبيرة من الماء فيزيد حجمها وتسبب تدهور الخرسانة ولكن يلزم وجود الرطوبة كما أن ارتفاع درجة الحرارة يزيد من سرعة هذا التفاعل .

والنوع الآخر هو تفاعل القلويات مع الكربونات الموجودة في بعض أنواع الحجر الجيري الطيني ، وهو نادر الحدوث ، ويمثل النوع الأول في تكون مواد منتفخة تؤدي إلى

تدهور الخرسانة .

هـ - تلوث الركام :

وهو وجود طينة أو طفلة أو مواد عضوية أو أملاح ضارة تغلف حبيبات الركام . هذه الطينة أو الطفلة من النوع المنتفخ (Swelling caly) ، وعند استعمال الركام ووجود رطوبة محيطة بالخرسانة تنتفخ حبيبات الطينة مسببة تدهورا للخرسانة الضعيفة أصلا ، نتيجة عدم وجود تماسك قوى بين الركام والمونة لوجود مادة حازرة بينهما .

٢ / ٤ / ٢ - العوامل الخارجية :

أ - عوامل جوية :

إن تأثير العوامل الجوية على تدهور الخرسانة إما أن يكون عن طريق دورات التجمد والذوبان للماء الحر داخل الخرسانة ، أو عن طريق التمدد والتقلص المقيد من الحركة عند تغير درجة حرارة الجو المحيط ، والتدهور الناشئ من دورات التجمد والذوبان ينجم عن تمدد الماء الحر في الفجوات الداخلية مع جذبه للماء من الأماكن التي لم يتجمد فيها مما يسبب ضغطاً أسموزياً (هيدروليكية) ، ومع تكرار هذه الدورات بعدد كاف من المرات فإن هذا التمدد وهذا الضغط يكون قادراً على تشريح الخرسانة وإتلافها ، ومن أكثر الأعضاء الخرسانية عرضة للتلف نتيجة الصقيع بلاطات الطرق والكبارى الخرسانية والسندود والخزانات في المناطق الباردة ، ويمكن تخفيف تأثير الصقيع بتحسين صرف الطرق والكبارى لأن الخرسانة الجافة لا يحدث لها ضرر من الصقيع ، كما أن استعمال إضافات الهواء المحبوس بحيث تصبح كمية الهواء من ٣ - ٦ ٪ من حجم الخرسانة يقلل كثيراً من تأثير الصقيع - انظر قسم (٢ / ٣ / ٢ / ١) من الباب الرابع .

أما تأثير ارتفاع وانخفاض درجات الحرارة فيمكن الحد منه عن طريقين : بعمل فواصل التمدد والتقلص التي تكفي لحدوث الحركة بدون قيد ، أو بأخذ الإجهادات الناشئة عن تغير درجات الحرارة في الاعتبار عند التصميم - انظر قسم (٢ / ٣ / ٢) من الباب الرابع .

ب - عوامل كيميائية :

بوجه عام فالخرسانة مقاومتها ضعيفة لهجوم الكيماويات ، والكيماويات التي تؤدي إلى تشريح الخرسانة سيتم تناول تأثيرها بالتفصيل في قسم (٢ / ٢) من الباب الرابع وهي :

الأحماض - مركبات الأمونيوم - الكبريتات - الأملاح - صدأ الحديد .

وهناك صورة أخرى من صور تأثير العوامل الكيميائية على تحمل الخرسانة مع الزمن وهى نزف هيدروكسيد الكالسيوم عند تغلغل الرطوبة فى الخرسانة (leaching) ، فهيدروكسيد الكالسيوم الموجود فى المونة المتصلدة يذوب بسهولة فى الماء خاصة فى وجود ثانى أكسيد الكربون ، وهكذا فعند امتصاص الخرسانة للماء أو سماحها له بالنفاذ إلى الداخل ، فإن هيدروكسيد الكالسيوم ينزف خارج الخرسانة ويؤدى هذا النزف إلى الإضرار بتحمل الخرسانة مع الزمن ، وتعانى المنشآت المحتوية على سوائل من هذه الظاهرة ، كما تعانى منها المنشآت تحت الأرض فى حالة وجود مياه جوفية .

واستعمال الخرسانة الكثيفة الجيدة ذات النفاذية المنخفضة يقلل إلى حد كبير من النزف ، وفى هذا المجال ينصح باستعمال المواد البوزولانية - انظر قسم ٢ / ٣ .

ج - عوامل التآكل :

المياه السريعة (١٥ م / ث) - وخاصة المحتوية على حبيبات - تؤدى إلى تآكل السطح (Erosion) . هذا التآكل يقلل من الغطاء الخرساني ويسبب خشونة السطح التى تزيد من تأثير المياه السريعة على التآكل السطحي ، أما المياه المضطربة فتؤدى إلى حدوث دوامات صغيرة سريعة بقرب الأسطح الخرسانية الملاصقة للماء ، ومع الوقت تحدث فجوات Cavitation فى السطح الخرساني لركائز الكبارى والسدود والخزانات . هذه الفجوات تؤثر سلبا على تحمل الخرسانة مع الزمن وتؤدى مع الوقت إلى تدهور السطح وتفتته Disintegration .

والرياح المحملة بالرمال تسبب تآكل المنشآت الخرسانية فى المناطق الصحراوية ، كما أن الدخان المحتوى على رماد يسبب تآكل المداخل والمواسير ، خاصة وأن مقاومة الخرسانة تقل فى درجات الحرارة أعلى من ٣٠٠ م .

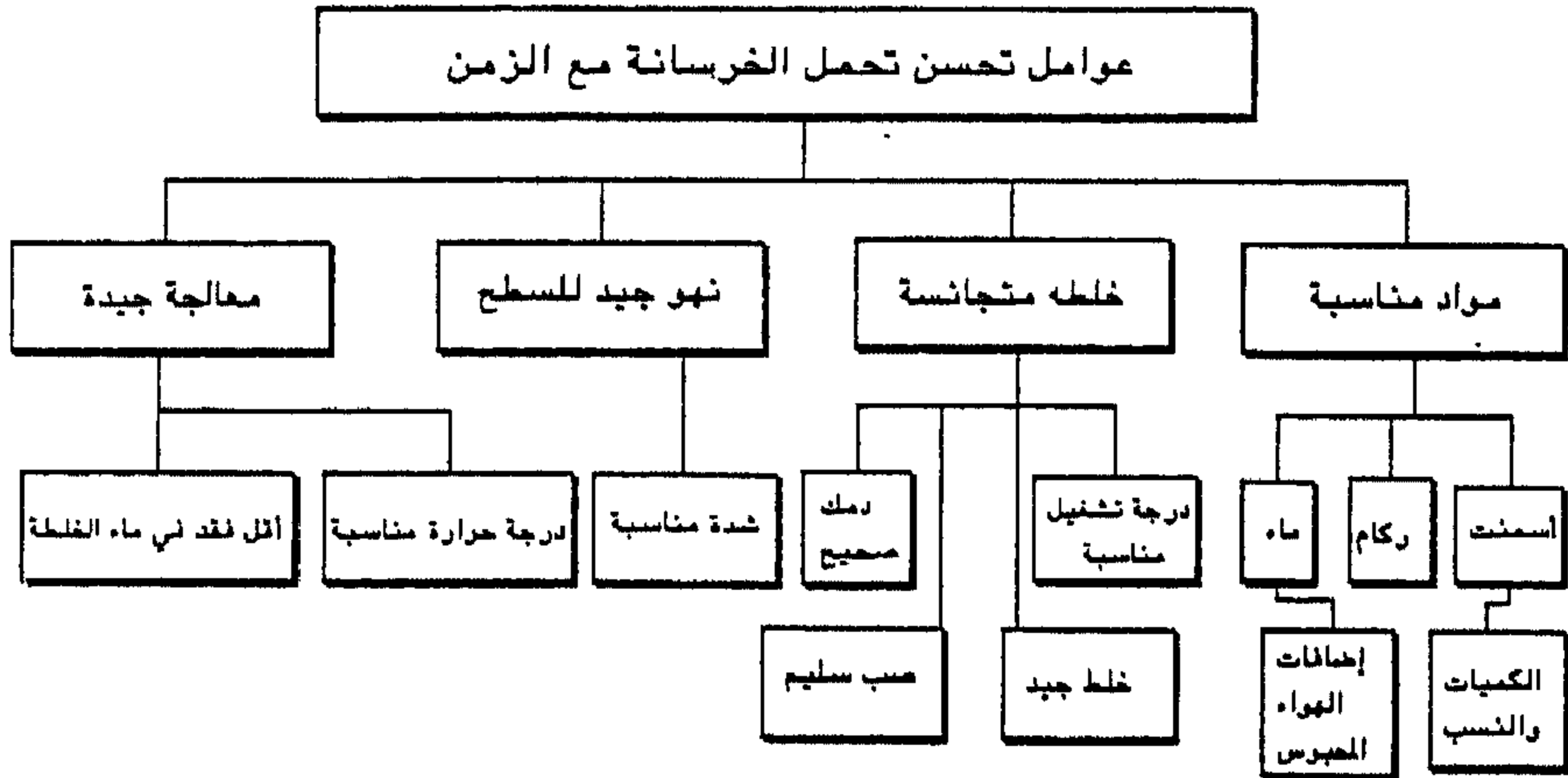
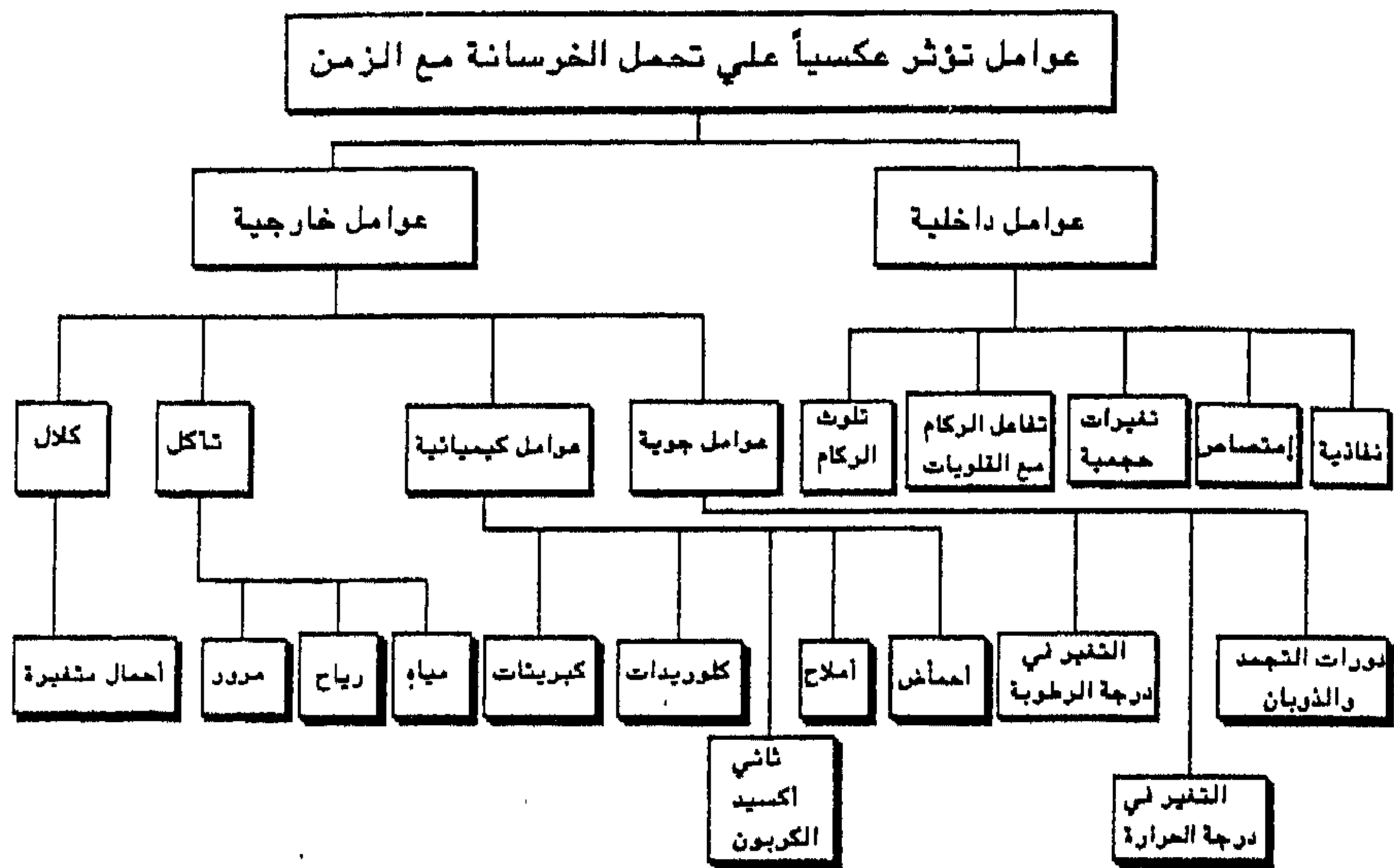
أما بلاطات الطرق والكبارى فتعانى من التآكل بفعل الاحتكاك مع عجلات المركبات ، ويزيد الأمر سوءا وجود رمال على الطريق مما يزيد الاحتكاك .

وتغطية الأسطح الخرسانية المعرضة لعوامل تآكل أو برى بمواد صلبة ، هى الطريقة المثلى لزيادة تحملها مع الزمن ، ومن أكثر المواد استخداما فى هذا المجال الايوكسى لصلادته الشديدة وقوة التصاقه بالخرسانة .

د - الأحمال المتكررة المتغيرة :

تؤدى الأحمال المتغيرة إلى تغير نوع الإجهاد على جانبي القطاع الخرساني (شد - ضغط) ، وهذا التغير عند تكراره يؤدي إلى حدوث كلال (Fatigue) في العضو الخرساني ، ولا يؤدي الكلال إلى نقص تحمل العضو الخرساني مع الزمن فقط ، وإنما قد يؤدي إلى انهياره ، وهناك تباين كبير في النتائج المتاحة لتجارب الكلال ولكن المعروف أنه تحت تأثير نفس الأحمال فإن تغيير هذه الأحمال في دورات Cyclic Loading يؤدي إلى مضاعفة اتساع الشروخ ، ثم يؤدي إلى انهيار العضو الخرساني تحت تأثير الكلال .

أما العوامل التي تزيد من قدرة الخرسانة على التحمل مع الزمن فتشمل استعمال مواد ونسب خلط مناسبة ، وتشمل الوصول إلى خلطة متجانسة وكذلك الحصول على نهو سليم للسطح ، وخاصة الخرسانة الظاهرة (Fair Face) والمعالجة السليمة للأعضاء الخرسانية - شكل (٣ / ١٤) .



شكل (٣ / ١٤) - العوامل التي تؤثر على تحمل الخرسانة مع الزمن

٣ - أسس تكون الشروخ

يوضح هذا الجزء الأسس التي تتحكم في عملية تكون الشروخ في الخرسانة اللدنة وفي الخرسانة المتصلدة كما يوضح مدى تأثير صلب التسليح على اتساع الشروخ وانتشارها في الخرسانة المتصلدة ، ويبين كيفية حساب اتساع الشروخ المتوقع حدوثها في الأعضاء الخرسانية المختلفة .

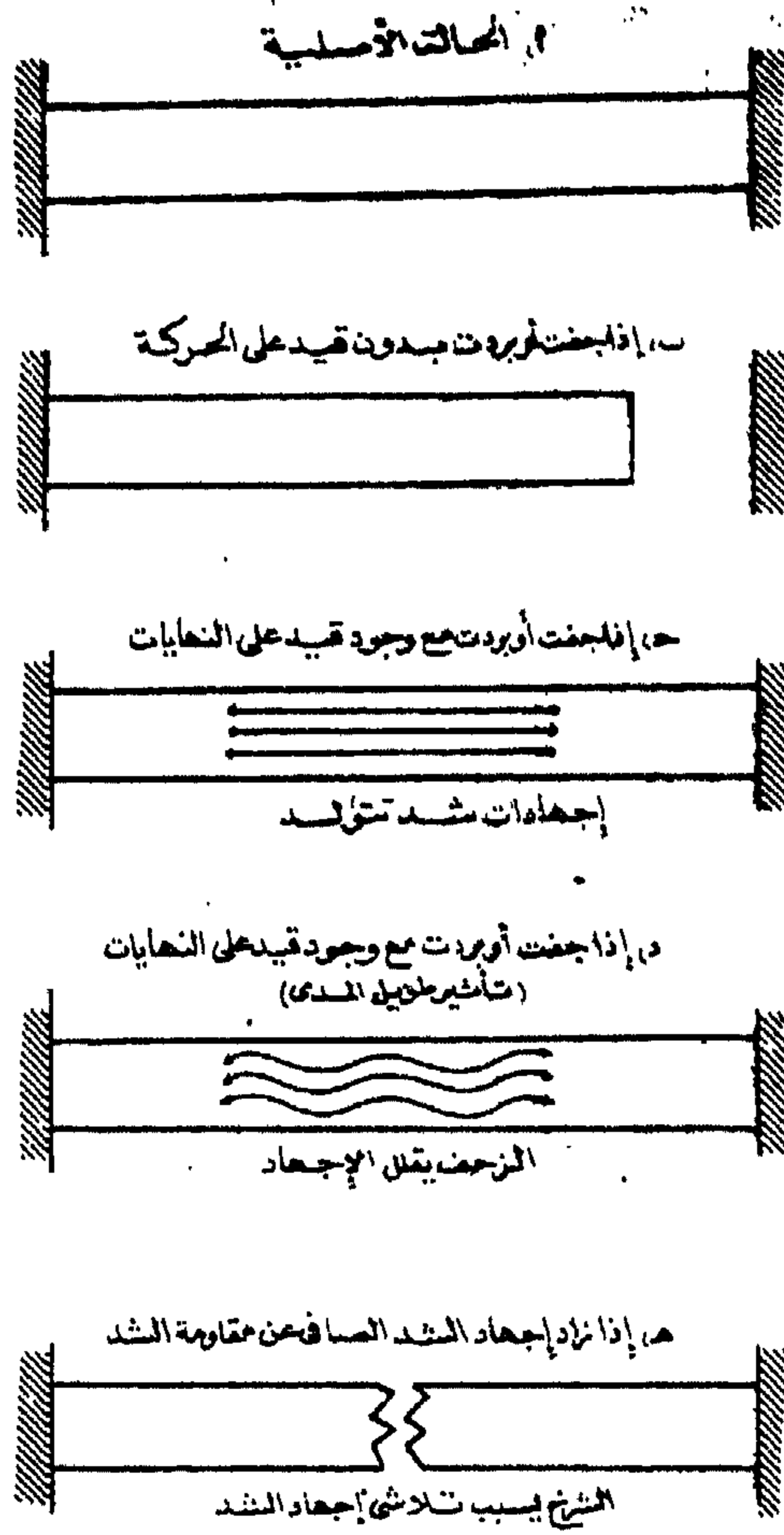
٣ / ١ - كيفية تكون الشروخ :

إن عملية الشروخ في الخرسانة تختلف باختلاف العوامل المؤدية إلى التشرخ ، وهي عوامل إنشائية أو طبيعية أو كيميائية أو حرارية ، وتكون الشروخ نتيجة العوامل الإنشائية والطبيعية عملية معقدة ، ويرجع ذلك إلى عدد من العوامل التي تعتمد على الوقت (Time - dependent factors) مثل معايير المرونة للخرسانة اللدنة والزحف ، وهناك فرضيتان أساسيتان لتكون الشروخ في هذه الحالة هما : زيادة الإجهاد عن مقاومة الشد أو زيادة الانفعال عن قدرة الخرسانة للانفعال للشد .

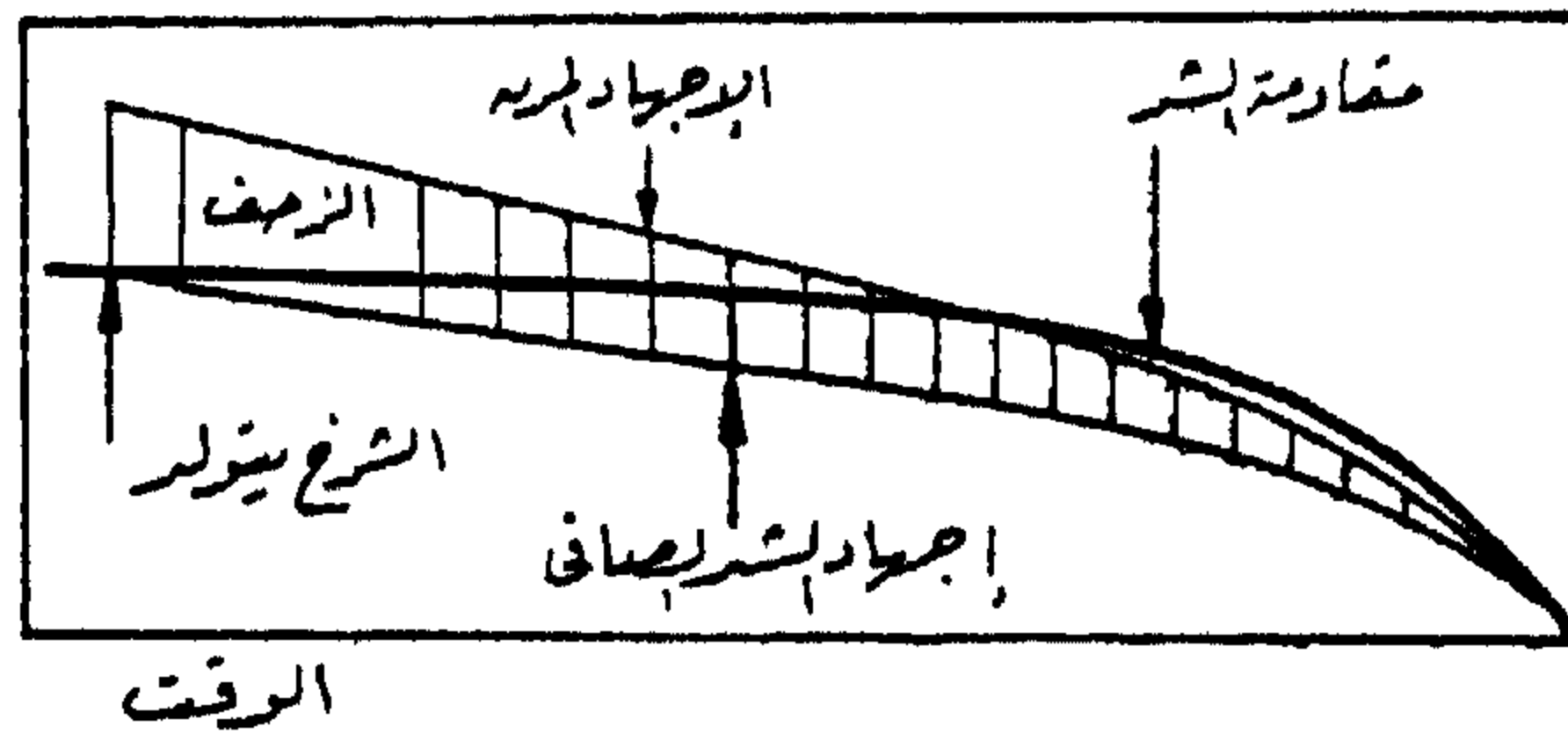
أما بالنسبة للشروخ نتيجة العوامل الكيميائية والحرارية ، فأسس تكونها تختلف باختلاف العامل المؤثر - كما سيتضح في قسمي ٣ / ١ / ٢ ، ٣ / ١ / ٤ .

٣ / ١ / ١ - مقاومة الشد Tensile Strength :

إذا أخذنا على سبيل المثال عضوا خرسانيا معرضا لرطوبة ودرجة حرارة معينة ، ثم افترضنا أن درجة الحرارة انخفضت ، فإن طوله سوف يتقلص ، وإذا افترضنا أن خرسانة هذا العضو ما زالت لدنة والجو المحيط به جاف فإن انكماش الخرسانة أثناء تصلدها سيؤدي أيضا إلى تقلص إضافي في طول العضو ، فإذا لم يكن هذا العضو ممنوعا من الحركة في اتجاه محوره فلن تحدث به أية شروخ ، ولكن إذا كانت نهايتا هذا العضو مثبتتين بحيث إن الطول الأصلي لن يسمح له بالتقلص - كما هو مبين في شكل (١٥/٣) - فإن إجهادات شد سوف تتولد في هذا العضو ، وهذه الإجهادات مكافئة للإجهادات اللازمة لشد العضو غير المقيد بعد تقلصه لإعادته إلى طوله الأصلي ، وفي الطبيعة هذا الشد أو



شكل (٣ / ١٥) تأثير القيد على الحركة على الانكماش



شكل (٣ / ١٦) تأثير الزحف على إجهاد الشد

القيود على الحركة لا يشترط أن يكون قيوداً خارجياً ، وإنما يمكن أن يكون قيوداً داخلياً على الحركة ، فقلب أى عضو بحرساني سميكة يمكن أن يكون أدقاً وأكثر رطوبة من سطحه ، مما يسبب قيوداً داخلياً على تقلص ذلك السطح .

وعلى هذا فيمكننا القول بأن الخرسانة سوف تبدأ في التشريح عندما تزيد إجهادات الشد المتولدة بها عن قدرتها على مقاومة الشد ، ومع بساطة هذا المبدأ فلا بد من الأخذ في الاعتبار عدة عوامل من تلك التي تعتمد على الوقت مثل :

أ - نضج الخرسانة :

فأولاً حيث إن الإمالة - تفاعل الأسمنت مع الماء - تستمر مع الوقت - أى تصير الخرسانة أكثر نضجاً - فإن الخواص الميكانيكية للخرسانة تتغير مع الوقت وخاصة معايير المرونة ، وعلى ذلك فإن الإجهاد المتولد نتيجة انفعال معين يزيد مع الوقت ولكن من المقبول أن نفترض أن مقاومة الشد هي الأخرى تزيد مع الوقت بمعدل قريب من معدل زيادة معايير المرونة ، وعلى ذلك يمكن أن نعتبر أن تغير الخواص الميكانيكية مع الوقت غير مؤثر تأثيراً كبيراً على بدء التشريح .

ب - الزحف :

وثانياً وهو الأكثر أهمية يجب الأخذ في الاعتبار تأثير الزحف على تقليل الإجهاد المتولد عن انفعال معين ثابت مع الوقت ، فالشروخ لا تتكون إلا عندما يزيد إجهاد الشد الصافي عن مقاومة الخرسانة للشد ، وهذا الإجهاد الصافي هو الفرق بين الإجهاد الأصلي وتأثير الزحف - كما هو موضح في شكل (٣ / ١٦) - وتأثير الزحف على تقليل الإجهادات في الخرسانة يعرف بالاسترخاء (Relaxation) ، وله تأثير كبير في تقليل الشروخ ، وحيث إن تأثير الزحف يقل مع زيادة عمر الخرسانة ، فإن تأثيره يكون أكبر في الخرسانة اللدنة وفي الشروخ نتيجة التقلص الحرارى المبكر .

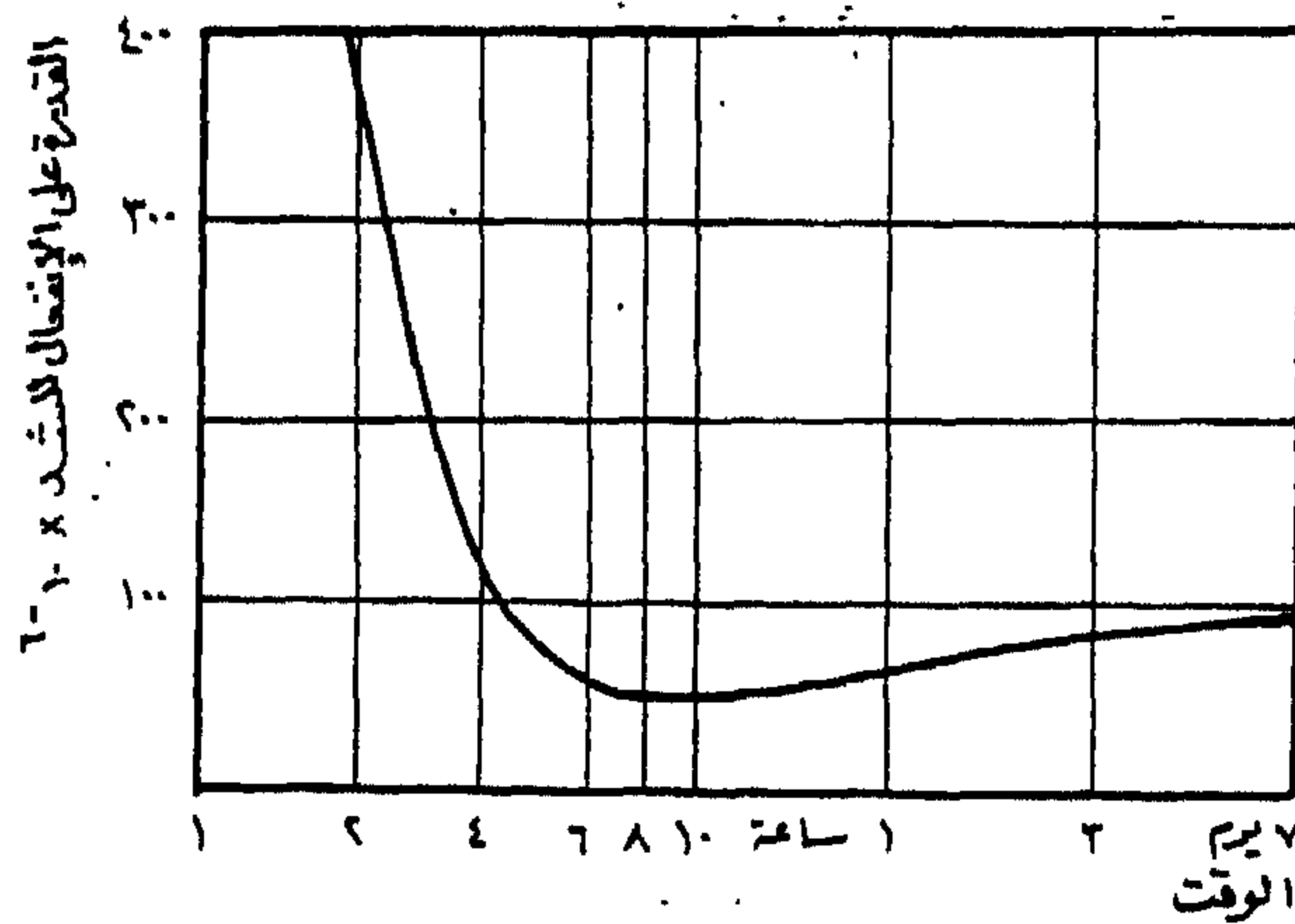
وتكون الشروخ في الخرسانة بعد التصلد يعتمد كذلك على مقاومة الخرسانة للشد ، فالتصميم غير السليم - زيادة الإجهادات عن المسموح به - أو التنفيذ السيئ - عدم كفاية فواصل التمدد والانكماش - أو التحميل الزائد أو الهبوط غير المنتظم ، كلها تولد إجهادات شد وانحناء في الأعضاء الخرسانية ، وعندما يزيد إجهاد الشد الرئيسى (Principle tensile stress) عن مقاومة الخرسانة للشد تبدأ الشروخ بها في الظهور .

ووجود صلب التسليح فى هذه الحالة لا يمنع تكون الشروخ ، وإنما يقلل انتشارها ويحد من اتساعها .

٣ / ١ / ٢ - القدرة على الانفعال للشد Tensile strain capacity:

والفرضية الثانية أن الشروخ تبدأ فى الخرسانة عندما يزيد الانفعال نتيجة الشد عن قدرة الخرسانة على الانفعال للشد ، ورغم أن قدرة الخرسانة المتصلدة على الانفعال تزيد مع الوقت بمعدل مماثل لزيادة مقاومتها ، فإن قدرة الخرسانة اللدنة للانفعال مختلفة تماماً عن قدرة الخرسانة المتصلدة - كما هو واضح من شكل (٣ / ١٧) - ففى البداية تكون الخرسانة فى حالة سيولة وقادرة على التشكل بدرجة واضحة ، ولكن هذه القدرة على الانفعال تقل بسرعة إلى أدنى قيمة لها بعد حوالى ٨ - ١٠ ساعات من صب الخرسانة ، وذلك عندما تبدأ الخرسانة فى التصلد ، ثم تبدأ فى الزيادة البطيئة بعد ذلك مع زيادة نضج الخرسانة .

وعلى هذا فإن قدرة الخرسانة على الانفعال للشد تكون فى أقل حالاتها عندما يبدأ الشك النهائى - التصلد - ولذا نجد أن استرخاء الإجهادات نتيجة الزحف مؤثر جداً فى العمر المبكر للخرسانة - من (٦ - ٢٤) ساعة بعد الصب - ويقل بعد ذلك مع الوقت ، وهذا يوضح لنا الفرق بين قدرة الخرسانة على الانفعال المقاسة فى المعمل - والمستعمل فيها اختبار لحظى - وتلك التى تحدد فى الطبيعة من ملاحظة بدء تكون الشروخ فى الخرسانة من نفس النوع ، فقدرة الخرسانة على الانفعال فى الطبيعة تكون أكبر من النتائج المعملية نتيجة التأثير المساعد للزحف على تقليل الإجهادات .



(شكل (٣ / ١٧) القدرة على الانفعال للشد فى العمر المبكر

٣ / ١ / ٣ - الشروخ نتيجة عوامل كيميائية :

أسس تكون الشروخ نتيجة عوامل كيميائية تختلف باختلاف نوع التفاعل الكيميائي المسبب لها :

• فالخرسانة يمكن أن تحدث بها شروخ نتيجة للتمدد الناشئ من التفاعل بين الركام المحتوى على سيليكات نشطة ، وبين الجزء القلوى الناتج من إماهة الأسمنت أو من تفاعل الجزء القلوى مع الإضافات ، والتفاعل بين السيليكات والقلويات يتسبب فى تكوين مادة جيلاينية تنتفخ وتجتذب الماء من مناطق أخرى فى الخرسانة ، وهذا الانتفاخ يؤدي إلى تمدد موضعى مصاحب بإجهادات شد ، ويمكن أن يؤدي فى النهاية إلى تشرخ وتمزق كامل للعضو الخرساني .

• أما عندما تتغلغل الكبريتات فى عجينة الأسمنت المتصلدة ، فإنها تتصل بالومينات الكالسيوم المتولدة من الإماهة - تفاعل الأسمنت والماء - وينتج من هذا الاتصال تفاعل تتكون على أثره أومينات الكبريت ، ويصاحب هذا التفاعل زيادة كبيرة فى الحجم مما يؤدي إلى إجهادات شد موضعية تتسبب فى تشريح الخرسانة .

• وبالنسبة للتأثير الملحي لمذيئات الجليد وأسس تكون الشروخ نتيجة لذلك فهى غير معروفة على وجه التحديد ، ومن المحتمل أنها نتيجة تأثير أكثر من عامل ، فقد اقترح بعض الباحثين أن الحرارة اللازمة لإذابة الجليد عند رش مذيئات الجليد الملحية على الطرق الخرسانية تؤدي إلى انخفاض سريع فى درجة حرارة السطح مما يؤدي إلى حدوث شروخ نتيجة فرق فى التقلص بين سطح الخرسانة وقلبها ، بينما رأى آخرون أن الضغط الأسموزى هو سبب تكون الشروخ ، فالأملاح المستخدمة لإذابة الجليد تتراكم على السطح مكونة محاليل مركزة عند سقوط الأمطار عليها ، وعندئذ يتدفق الماء من المناطق التى بها تركيز أقل من الأملاح إلى المناطق التى بها تركيز كبير من الأملاح مما يؤدي إلى تولد ضغط أسموزى - هيدروليكي - مؤثر يتسبب فى حدوث تفتت فى الخرسانة .

٣ / ١ / ٤ - الشروخ نتيجة عوامل حرارية (الصقيع) :

تشارك عدة عمليات فى ميكانيكية تكون الشروخ نتيجة الصقيع ، منها : تكون ضغط هيدروليكي نتيجة تجمد الماء ليصير ثلجا ، ومنها : امتصاص كبريتات الكالسيوم

الهلامية للماء ، ومنها : الانفصال الثلجي ؛ فهناك ٩ ٪ زيادة في الحجم تنتج عند تجمد الماء الموجود في الشروخ الصغيرة وتحوله إلى ثلج ، ولكن هذه الزيادة الحجمية وحدها لا تكفي لإحداث كل هذا التمدد في الخرسانة المعرضة للصقيع ، ومن الممكن أن السبب الرئيسى لهذا التمدد هو الضغط الهيدروليكي على الماء الذي لم يتجمد ، فعندما يتجمد بعض الماء في فراغ داخل الخرسانة تؤدي الزيادة الحجمية نتيجة تحول الماء إلى ثلج إلى حدوث ضغط على الماء الذي لم يتجمد بعد في الفراغ ، وفي هذه الحالة فإن الفراغ سيتمدد مولدا إجهادات على الخرسانة المحيطة بالفراغ ، وبإضافة الضغوط المتولدة نتيجة تمدد عدة فراغات إلى بعضها البعض تحدث إجهادات شد ، يمكن أن تزيد على مقاومة الخرسانة المحيطة بالفراغات للشد مما يؤدي إلى تصدعها .

الخلاصة :

ويمكننا في ضوء ما تقدم أن نخلص إلى الآتي :

- ١ - الشروخ التي تحدث في الخرسانة أثناء تصلدها وجفافها لن تتكون إلا إذا كان هناك قيد على الحركة ، ولا يشترط أن يكون هذا القيد خارجيا وإنما يمكن أن يكون قيدا داخليا حسب سمك العضو ومساحة سطحه .
- ٢ - الزحف يساعد على تقليل احتمالات التشريح وخاصة في الأعمار المبكرة للخرسانة (أقل من يوم) .
- ٣ - الشروخ الكيميائية تتكون أساسا عندما تزيد إجهادات الشد المتولدة عن تمدد المواد الناتجة من التفاعلات الكيميائية - بأسبابها المختلفة - عن مقاومة الخرسانة للشد .
- ٤ - الصقيع يؤدي إلى تصدع الخرسانة بسبب الضغط الهيدروليكي الناتج عن تجمد بعض الماء الموجود في الفراغات مما يحدث ضغطا على الماء الذي لم يتجمد ، ومجموع هذه الضغوط تسبب الشروخ .

٣ / ٢ - تأثير صلب التسليح :

يتحكم صلب التسليح في اتساع الشروخ وانتشارها في الخرسانة المتصلدة حيث يعمل الصلب كنوع من القيد الداخلي على الحركة ، ويستخدم صلب التسليح لمقاومة الإجهادات الآتية :

- أ - إجهادات الشد المتولدة عن قوى الشد أو الأحمال المسببة للانحناء -

ب - إجهادات الشد المتولدة عن التغيرات الحجمية المقيدة مثل الانكماش نتيجة الجفاف ، والتمدد والتقلص نتيجة تغير درجات الحرارة .

وليس لصلب التسليح نفس التأثير على الشروخ في الخرسانة اللدنة .

٣ / ٢ / ١ - المسافة بين الشروخ :

إذا أخذنا حالة عضو خرساني معرض لإجهادات شد منتظمة نتيجة قوة شد فقط ، فإن أول شرخ يمكن أن يبدأ في أى نقطة على هذا العضو - عادة ما تكون أضعف نقطة - عند هذا الشرخ سيصبح الإجهاد مساويا للصفر ، ثم تبدأ قيمة الإجهاد في الزيادة كلما زادت المسافة من الشرخ حتى إنه بعد مسافة معينة ولتكن (م) مثلاً سيصبح الإجهاد غير متأثر بالشرخ ، ولأن تكون الشرخ أدى إلى انخفاض قيم الإجهادات في الخرسانة إلى ما دون مقاومتها للشد في المسافة \pm م من الشرخ فإن أى شرخ آخر يتكون لابد أن يكون على مسافة أكبر من (م) من الشرخ الأول ، وعلى هذا تكون أصغر مسافة بين الشروخ لا تقل عن (م) ، وهذه المسافة هي أقل مسافة لازمة لانتقال كل إجهادات الشد من صلب التسليح إلى الخرسانة عن طريق التماسك Bond بينهما بحيث تصل الإجهادات إلى حدها الأقصى - مقاومة الخرسانة للشد .

وإذا تكون شرخ ثانى على مسافة أكبر من (٢ م) من الشرخ الأول ، فستكون هناك مسافة بين الشرخين غير متأثرة بأى منهما - على بعد (م) من كل شرخ - ويمكن أن يتكون شرخ ثالث بها - كما هو موضح في شكل (٣ / ١٨) - وبهذا التحليل يتضح أن أقصى مسافة بين الشروخ - بعد تكون كل الشروخ - لا تزيد عن (٢ م) .

فمن الواضح إذاً أن المسافة بين الشروخ في حالة تعرض العضو لإجهادات شد منتظمة تتراوح بين (م) إلى (٢ م) ، وبوجه عام يمكن اعتبارها (١,٥ م) رغم أن بعض الدراسات النظرية تقترح أن تؤخذ (١,٣٣ م) ، وعند الشروخ فإن قوى الشد يقاومها صلب التسليح بمفرده ، أما بعيداً عن الشرخ فتعمل قوة التماسك بين الصلب والخرسانة على نقل الإجهاد من الصلب إلى الخرسانة ، حتى إنه بعد مسافة (م) فإن الإجهاد في الخرسانة يصبح مساوياً لمقاومتها للشد ، ويمكن تكون شرخ ثانى وهكذا .

وهناك عدة معادلات تحتوى العلاقة بين المسافة (م) ونوع وتوزيع صلب التسليح ، والدراسات توضح أنه في الأعضاء المعرضة لإجهادات شد منتظمة أو إجهادات انحناء ،

فإن المسافة (م) تكون دالة فى كل من :

أ - الغطاء الخرسانى لصلب التسليح : فالمسافة بين الشروخ تزيد بزيادة الغطاء الخرسانى .

ب - قطر السيخ : وهى تزيد كذلك كلما زاد القطر .

ج - نسبة الصلب فى القطاع : تقل المسافة بين الشروخ كلما زادت كمية صلب التسليح .

د - قوة التماسك بين الصلب والخرسانة : تقل الشروخ كلما زادت قوة التماسك ، ولذلك فيمكن كتابة المعادلة التى تربط المسافة (م) وهذه العوامل كما يلي :

$$م = ك١ غ + ك٢ \left(\frac{ق}{ن} \right) (١٠)$$

حيث : ك١ : ثابت .

غ : الغطاء الخرسانى .

ك٢ : ثابت يعتمد على قوة تماسك الصلب مع الخرسانة .

ق : قطر السيخ .

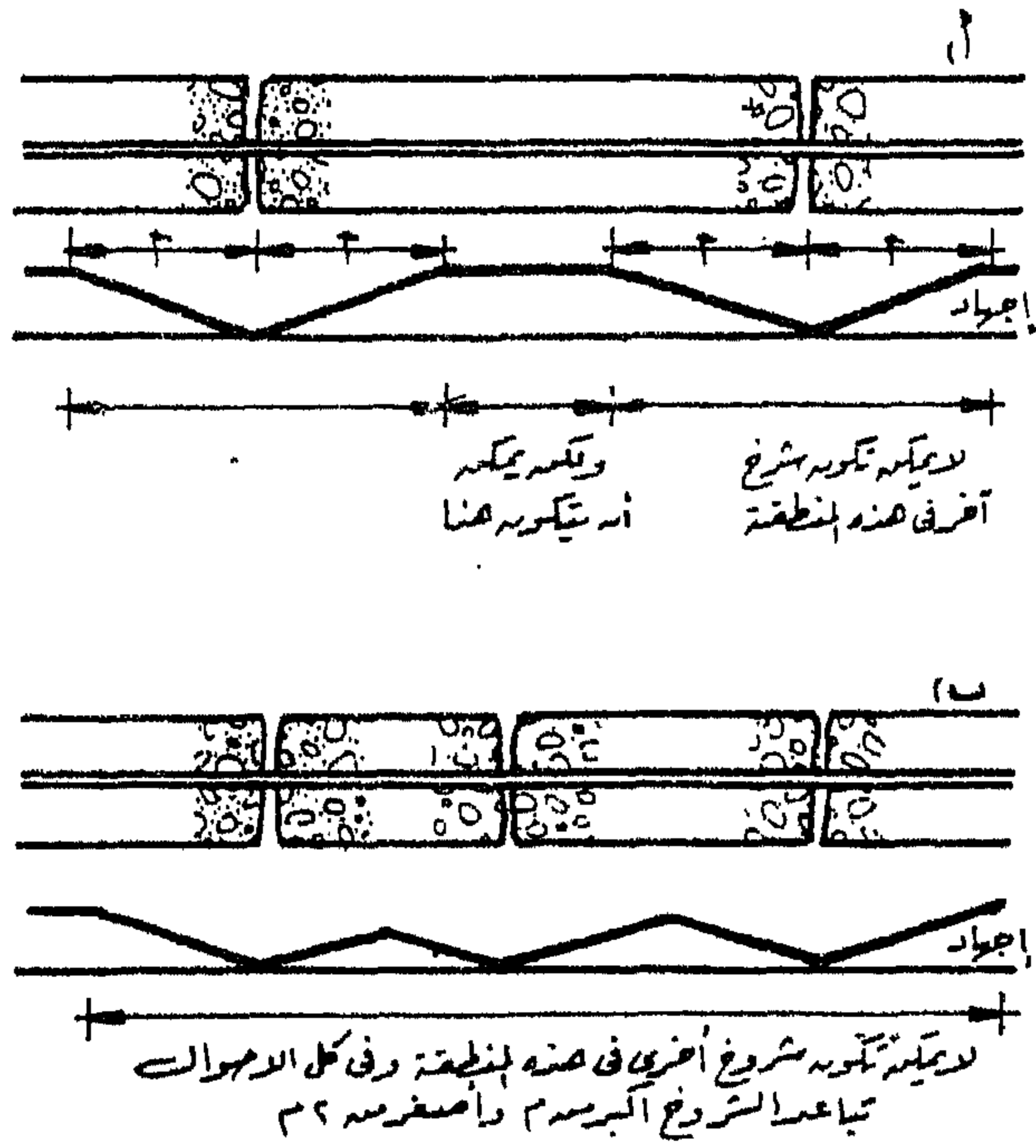
ن : نسبة الصلب فى القطاع .

وفى كثير من الحوائط والبلاطات حيث نسبة التسليح قليلة - بالمقارنة بالكمرات كثيفة التسليح مثلا - فإن الجزء الأول من المعادلة (ك١ غ) يصبح أقل كثيرا من الجزء الثانى بحيث تصبح المسافة م كما يلي :

$$م \approx ك٢ \left(\frac{ق}{ن} \right)$$

هذه العلاقة تعنى أن صلب التسليح أقوى من الخرسانة التى لم تصل إلى مقاومتها القصوى بعد ، وأن الصلب لن يصل للخضوع عند مكان الشرخ ، ولكى يتحقق هذا فإن كمية التسليح يجب ألا تقل عن النسبة الحرجة ، وهذه النسبة تساوى (F_{ct} / F_y) .

حيث : F_{ct} تمثل إجهاد الشد للخرسانة عند العمر الذى حدث عنده الشرخ
 F_y إجهاد الخضوع المتميز للصلب .



شكل (١٨ / ٣) أسس التباعد بين الشروخ

٣ / ٢ / ٢ - عرض الشرخ :

إذا لم تقل نسبة صلب التسليح في القطاع عن النسبة الحرجة الميمنة عالية فلن يحدث خضوع للصلب ، وفي هذه الحالة فإن عرض الشرخ في الأعضاء المعرضة لإجهادات شد فقط (tension members) سيكون حسب مرجع (١١) :

$$ع = ٢ م \times الانفعال$$

حيث ع : هي عرض الشرخ عند السطح .

أما الأعضاء المعرضة لانحناء فإن عدة عوامل تؤثر على عرض الشرخ ، حيث يزيد عرض الشرخ بزيادة إجهاد صلب التسليح وعمق الغطاء الخرساني ومساحة الخرسانة التي تغلف كل سيخ ، ولكن تأثير إجهاد صلب التسليح هو العامل الأهم ، أما قطر السيخ فليس له تأثير كبير ، كما أن عرض الشرخ عند السطح يزيد بازدياد فروق الانفعال بين صلب التسليح وبين سطح الكمرة المعرض للشد .

وقد استعرض تقرير لجنة المعهد الأمريكي للخرسانة رقم ٢٢٤ لسنة ١٩٧٢ (١٢)

الأبحاث التي أجريت في كل من الولايات المتحدة وأوروبا للوصول إلى معادلات لتحديد عروض الشروخ في الكمرات والبلاطات ، وقد تباينت هذه المعادلات تباينا كبيرا ، ولكن التقرير اقترح معادلة مبسطة وتتوافق مع نتائج التجارب بالنسبة لعرض الشروخ في الكمرات والبلاطات ذات الاتجاه الواحد (One Way) كما يلي :

$$W = 0.076 B F_s^3 \sqrt{d_c \cdot A} \times 10^{-3}$$

حيث : العرض الأقصى للشروخ بالبوصة

B : المسافة بين محور التعادل و سطح الشد / المسافة بين محور التعادل ومركز صلب التسليح (تؤخذ ١, ٢ للكمرات) .

Fs : اجهاد الصلب (كيلو باوند / بوصة مربعة) .

dc : المسافة من سطح الشد لمركز أقرب سيخ تسليح .

A : متوسط المساحة المحيطة بالسيخ ، أو هي مساحة الخرسانة المتماثلة مع الأسياخ مقسومة على عدد الأسياخ (بوصة مربعة) .

وبناء على هذه المعادلة فقد أعطت المواصفات الأمريكية (ACI - 318) قيما قصوى للجزء ($F_s^3 \sqrt{d_c \cdot A}$) على أساس أن $B = 1.2$ كالتالى :

١٧٥ للأعضاء الداخلية - أى العرض الأقصى لا يزيد عن ٤ , مم .

١٤٥ للأعضاء الخارجية - أى أن العرض الأقصى لا يزيد عن ٣٣ , مم .

وقد اقترح تقرير اللجنة الأمريكية استعمال نفس المعادلة لحساب عرض الشروخ بالنسبة للأعضاء المعرضة لإجهادات شد فقط مع الأخذ فى الاعتبار أن عرض الشروخ فى هذه الحالة سيكون أكبر من عرض الشروخ للأعضاء المعرضة لانحناء لسبيين :

١ - عدم وجود تدرج فى الانفعال بين السيخ وبين سطح العضو - انفعال ثابت .

٢ - عدم وجود منطقة ضغط .

وعلى أساس بعض نتائج التجارب تم اقتراح زيادة المعامل إلى ٠, ١ للأعضاء المعرضة لإجهادات شد ، بدلا من ٠, ٧٦ ، للأعضاء لانحناء ، وبذلك يصبح عرض الشروخ W :

$$W = 0.1 B F_s^3 \sqrt{d_c \cdot A} \times 10^{-3}$$

هذا ومن المتوقع أن يزداد عرض الشروخ مع الوقت فى حالة التحميل لمدة طويلة ،
أو التحميل بأحمال متكررة ، حيث يمكن أن يتضاعف عرض الشروخ مع الوقت فى بعض
الأحوال - انظر قسم (٢ / ٥ / ٢) من الباب الرابع .

والتحكم فى عرض الشروخ بحيث لا يزيد عن العرض المسموح به فى المواصفات
يمكن عن طريق :

١ - توزيع أسياخ التسليح توزيعا جيدا .

٢ - خفض إجهاد الصلب عن طريق استعمال كمية أكبر من الكمية اللازمة لمقاومة
الأحمال .

٣ - تقليل الغطاء الخرسانى لتقليل عرض الشروخ السطحي ، ولكن ذلك يتعارض
مع متطلبات التحمل مع الزمن التى تضع حدا أدنى للغطاء الخرسانى حسب
الجوالمحيط بالخرسانة .

٤ - اختبارات الخرسانة

اختبارات الخرسانة تبدأ من لحظة وصول مكوناتها إلى الموقع حيث يجرى اختبار المكونات قبل قبولها واستعمالها ، ثم تختبر الخرسانة بمجرد خلطها وتختبر بعد تصلدها ، ولذا تقسم اختبارات الخرسانة إلى قسمين رئيسيين :

اختبارات الخرسانة الطازجة : وتجرى على الخرسانة قبل تصلدها أو على مكعباتها بعد التصلد ، والهدف منه التأكد من جودة الخرسانة المنتجة ومطابقتها للمواصفات المطلوبة .

واختبارات الخرسانة المتصلدة : وتجرى على المنشآت الخرسانية التي يجرى فحصها للتأكد من سلامتها أو لتحديد مدى العيوب التي تم رصدها وأسبابها ، أو للحكم على صلاحية المنشأ الخرساني للاستخدام .

٤ / ١ - اختبارات الخرسانة الطازجة :

ويسبقها اختبار مواد الخرسانة من ركام وأسمنت وماء خلط وإضافات و صلب التسليح ، كما تشمل اختبارات الخرسانة ذاتها من حيث القابلية للتشغيل وزمن الشك ، واختبارات الانكماش ، واختبارات المقاومة للأحمال الميكانيكية من ضغط وشد وقص وتماسك مع صلب التسليح ، وهذه الاختبارات مغطاة بالتفصيل في المواصفات القياسية وكتب خواص المواد واختبارها ، ولذا فلن نتعرض لها في هذا الكتاب .

٤ / ٢ - اختبارات الخرسانة المتصلدة :

وهي الاختبارات التي تجرى على الأعضاء الخرسانية لتحديد :

١ - مقاومة الخرسانة في العضو للأحمال - وخاصة مقاومة الضغط .

٢ - تحديد أماكن وأقطار أسياخ التسليح في العضو .

٣ - تحديد بعض الخواص الطبيعية للخرسانة كالنفاذية والامتصاص .

٤ - تحديد التركيب الكيميائي للخرسانة من حيث محتوى الأسمنت ونوعه ، نسبة الركام / الأسمنت ، نسبة الماء / الأسمنت ، نوع الإضافات ، نسبة الجير / نسبة الأملاح إلخ .

٥ - التحقق من احتمالات الصدأ عن طريق قياس القابلية / المقاومة الكهربائية ، عمق التحول الكربوني ، محتوى الكلوريدات .

٦ - التحقق من وجود عيوب بالعضو من عدمه كالتحقق من وجود فراغات داخلية - تعشيش - أو اختناق في المقطع - في حالة الخوازيق - أو شروخ داخلية أو صدأ بصلب التسليح ... إلخ .

وتنقسم هذه الاختبارات إلى اختبارات غير متلفة (Non - destructive tests) واختبارات متلفة (Destructive tests) ، حيث لا تؤدي الأولى إلى تلف العضو الخرساني ، أما الثانية فيجرى فيها اقتطاع جزء من الخرسانة لاختباره ، ويلزم إصلاح هذا التلف بعد ذلك .

وهذه الاختبارات مرتبطة بتصديق المنشآت الخرسانية ولازمة لتشخيص أمراضها ، ولذا فسنناولها بالتفصيل في الأقسام القادمة .

٤ / ٢ / ١ - الاختبارات غير المتلفة :

لقد تطورت الاختبارات غير المتلفة تطورا كبيرا في الفترة الأخيرة ، وأصبح من الممكن الحكم على جودة الخرسانة وتحملها مع الزمن من خلال هذه الاختبارات ، كما أصبح من الممكن تحديد كمية ومكان صلب التسليح ودرجة الصدأ بدون الكشف على الأسياخ .

وخواص الخرسانة المرغوبة والتي يمكن التحقق منها عن طريق الاختبارات غير المتلفة ثلاثة :

• سلامة وجودة الأعضاء الخرسانية Structural integrity .

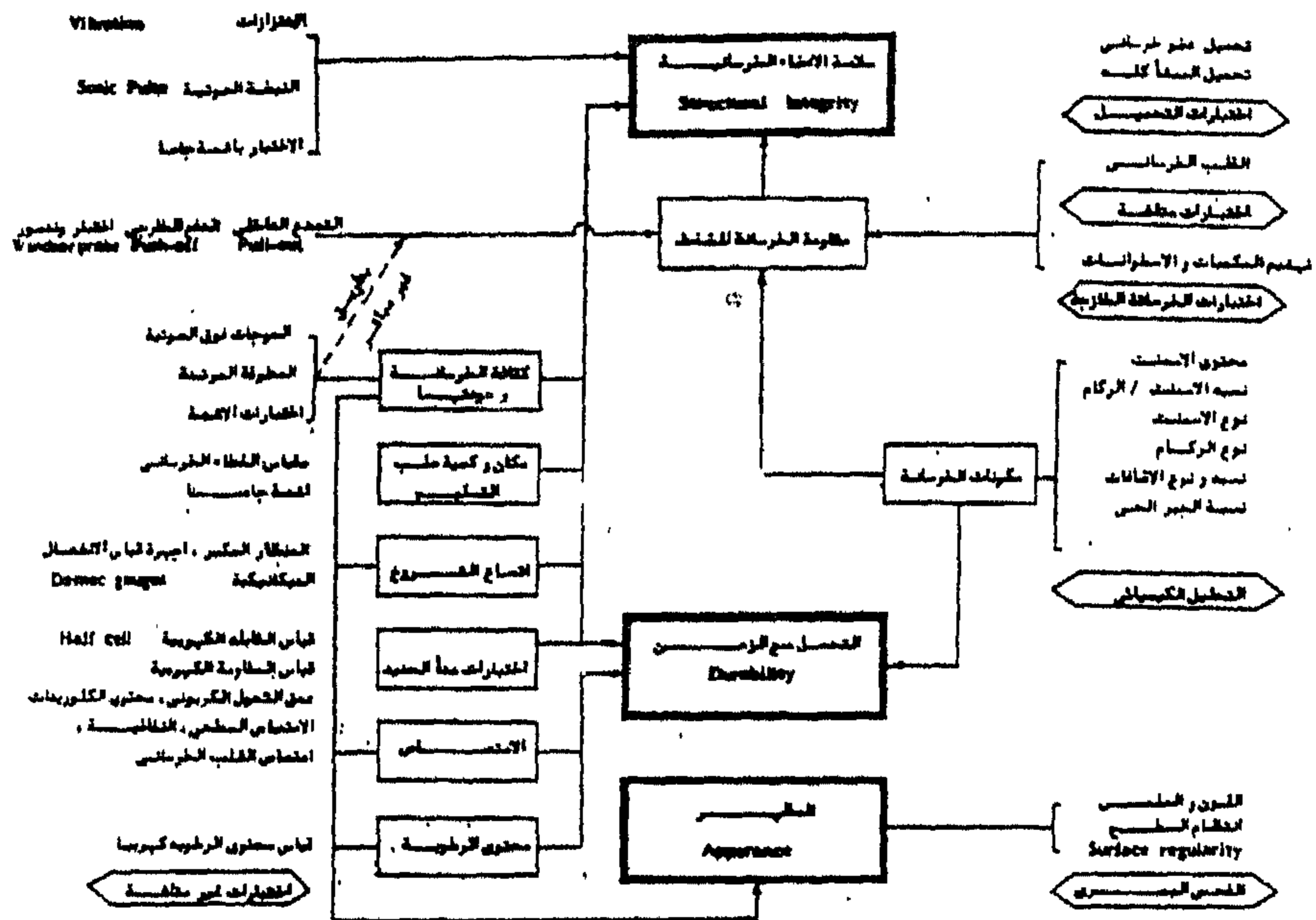
• تحمل الخرسانة مع الزمن Durability .

• ومظهر الخرسانة وتفاوت أبعادها Appearance and tolerance .

ويمكن التحقق من سلامة الأعضاء الخرسانية عن طريق (١٣) : شكل (٣ / ١٩) .

١ - إجراء الاختبارات على الأعضاء الخرسانية - مثل :

خ ١ : اختبارات الاهتزازات Vibration techniques .



شكل (٣ / ١٩) العلاقة بين الخصائص الثلاث المرغوبة في المنشآت الخرسانية والاختبارات التي تجرى للتحقق منها

- خ ٢ : النبضة الصوتية Sonic pulse method .
- خ ٣ : أشعة جاما Gamma ray back - scatter method .
- ٢ - اختبارات تقدير مقاومة الخرسانة - مثل :
- خ ٤ : التصدع الداخلي (الاقتلاع) (pull - out) Internal fracture test .
- خ ٥ : الدفع للخارج push - off test .
- خ ٦ : اختبار وندسور windsor probe .
- ٣ - اختبارات كثافة الخرسانة وجودة دمكها (وتعطى فكرة عن مقاومة الخرسانة كذلك) - مثل :
- خ ٧ : المطرقة المرتدة Rebound hammer .
- خ ٨ : الموجات فوق الصوتية. Ultrasonic pulse velocity measurements .
- خ ٩ : اختبارات الأشعة Radiographic techniques .
- ٤ - تحديد مكان وكمية صلب التسليح عن طريق :
- خ ١٠ : مقياس الغطاء الخرساني Electromagnetic covermeter .
- خ ٣ : اختبار أشعة جاما Gamma Radiography .
- ٥ - قياس اتساع الشروخ عن طريق :
- خ ١١ : المنظار المبكر Crack comarator .
- خ ١٢ : أجهزة قياس الانفعال والحركة Mechanical strain & movement gauges .
- ٦ - اختبارات صدا الحديد (والقابلية للصدا) - مثل :
- خ ١٣ : قياس القابلية الكهربائية (half - cell) Measurement of electrical potential .
- خ ١٤ : قياس المقاومة الكهربائية Measurement of electrical resistance .
- خ ١٥ : جهاز الاندوبروب Endoprobe test .
- خ ١٦ : عمق التحول الكربوني Testing for carbonation .

خ ١٧ : محتوى الكلوريدات Chloride content .

ويمكن التحقق من قدرة الخرسانة على التحمل مع الزمن عن طريق الاختبارات السابقة في المجموعات من رقم (٣) إلى رقم (٦) وكذلك من :

٧ - اختبارات الامتصاص - مثل :

خ ١٨ : الامتصاص السطحي Initial surface absorption test .

خ ١٩ : النفاذية permeability test .

٨ - اختبارات محتوى الرطوبة - مثل :

خ ٢٠ : قياس محتوى الرطوبة كهربيا - Electrical methods for measuring- moisture content

أما مظهر الخرسانة فتؤثر فيه خواص مثل كثافة الخرسانة - اختبارات المجموعة (٣) واتساع الشروخ - اختبارات المجموعة (٥) - ولكن اختبارها يكون عادة عن طريق الفحص البصري الذى يحدد :

اللون وملس السطح colour and texture .

انتظام السطح surface regularity .

والاختبارات غير المتلفة تعطى قيمة نسبية وتستخدم للمقارنة ، ولا تستخدم وحدها لتحديد قيمة دقيقة لخواص الخرسانة لعدم توفر الدقة الكافية فيها ، حيث إنها تتأثر بعوامل عدة وتشتت نتائجها كبير ، وينصح بمراعاة الأمور التالية عند الاستعانة بالاختبارات غير المتلفة :

أ - ضرورة استخدام أكثر من طريقة في تقدير مقاومة المنشأ ؛ لأن الاعتماد على طريقة واحدة يعتبر مجازفة .

ب - ضرورة الربط بين قيم الاختبارات غير المتلفة وقيم اختبارات المكعبات والقلب الخرساني ، وذلك عن طريق منحني معايرة يربط بينها ، مع مراعاة أن هذا المنحني سيختلف باختلاف نوعية الخرسانة وطريقة صنعها وصبها .

خ ١ : اختبارات الاهتزازات ^(١٤) Vibration techniques :

الغرض من الاختبار :

إذا أثرت قوة ذات تمرج جيبي (Sinusodially varying) على المنشأ أو على عضو من أعضائه ، فإن الاهتزازات الناشئة ستعتمد أساساً على معايير المرونة وكثافة الخرسانة وشكل العضو وقيمة القوى المقيدة للحركة ، والغرض من هذا الاختبار تقدير :

١ - جودة الخرسانة عن طريق تقدير معايير مرونتها وكثافتها .

٢ - عدم وجود اختناقات بالعضو .

٣ - تصرف العضو إذا تعرض للأحمال الديناميكية .

والقيم المستقاة من هذا الاختبار نسبية شأنه شأن كل الاختبارات غير المتلفة ، ويستخدم هذا الاختبار أساساً للتحقق من سلامة الخوازيق الإسطوانية ذات نسبة الطول القطر لا تزيد عن ٢٠ ، وإذا كان المطلوب الحصول على صورة كاملة لجودة الخوازيق ، فلا بد من عمل تجارب تحميل بالإضافة إلى اختبارات الاهتزازات ، وقد يستعمل هذا الاختبار في تقدير سلوك المباني العالية تحت تأثير أحمال الرياح وفي تقديم المعلومات المطلوبة لعمل تقوية للمنشآت المعيبة .

طريقة إجراء الاختبار :

يركب هزاز كهروديناميكي (Electrodynamic) على قمة الخازوق ، كما يركب بجواره ومنفصل عنه مقياس سرعة (Velocity transducer) ، يقوم برصد محصلة حركة قمة الخازوق ، والهازاز يجب أن يكون من النوع الذي يمكن تغيير تردده من الصفر إلى ألف هيرتز ، وبقياس تأثير الخازوق بالاهتزازات يمكن رصد أى تغير في طول الخازوق أو مقطعه أو اختلاف في مواصفات خرسانية .

خ ٢ : اختبار النبضة الصوتية ^(١٥) Sonic pulse Method :

الغرض من الاختبار :

١ - تقدير جودة الخرسانة المستخدمة .

٢ - الكشف عن الفجوات وأماكن التعشيش .

طريقة إجراء الاختبار :

يتم دفع ماسورتين أو ثلاثة - حسب حجم الخازوق - من المعدن بقطر ٥ سم في الخازوق بكامل طوله ، ويتم إنزال أجهزة إرسال / استقبال Transducer من السيراميك في اثنين منها ، حيث يتم إرسال نبضة صوتية بتردد ١٠ هيرتز (10 Hz) من أحدهما واستقبالها في الآخر بعد مرورها عبر الخازوق ، ويظهر شكل الموجة المرسلة على شاشة oscillograph على هيئة مجموعة من الأجزاء المضيئة والمظلمة على خط أفقي ، والمسافة من بداية الإرسال إلى بداية شكل الموجة تحدد سرعة سريان النبضة في مادة الخازوق وتقدر جودة هذه المادة على أساس هذه السرعة ، كما أن حدوث ضعف في ظهور شكل الموجة على الشاشة يدل على ضعف مادة الخازوق ؛ لأنه كلما كانت الخرسانة أقل جودة كلما ضعفت النبضة ، وإذا كانت هناك فجوة أو منطقة ليس بها خرسانة فإن الموجة تختفي كلية من على الشاشة ، وبتحريك أجهزة الإرسال والاستقبال إلى أعلى يمكن عمل تقدير عن جودة الخرسانة ومدى كثافتها بطول الخازوق كله ، وقد استعملت هذه الطريقة أيضا في اختبار الحوائط الخرسانية فوق الأرض .

خ ٣ : طريقة أشعة جاما (١٦) Gamma ray back - scatter method :

الغرض من الاختبار :

١ - تقدير جودة وكثافة الخرسانة .

٢ - الكشف عن أى عيوب بالعضو الخرساني .

طريقة إجراء الاختبار :

إن هذا الاختبار يحتاج إلى ماسورة واحدة فقط حيث يمكن الكشف عن حالة الخرسانة المحيطة بالماسورة لبعد ١٠ سم ، أى يكشف عن حالة إسطوانة من الخرسانة قطرها ٢٠ سم ، إذا زاد قطر الخازوق كثيراً عن ذلك فيمكن استعمال أكثر من ماسورة ، والجهاز يتكون من مصدر للأشعة وجهاز للكشف عنها مفصولين عن بعضهما بلوح من الرصاص وموضوعين في علبة بقطر ٤,٨ سم وطول ٥ سم وبها جهاز عد الكتروني ، وفكرة الجهاز أن معدل العد يزداد كلما نقصت كثافة الخرسانة ، والاختبار يتم بعمل رسم لمعدل العد مع العمق ، وهذا الرسم سيوضح مباشرة وجود عيوب في الخازوق .

ويمكن إجراء هذا الاختبار على الخرسانة الطازجة بعد صبها مباشرة ؛ لأن الخرسانة لا تتغير كثافتها عندما تتصلد إلا تغيراً طفيفاً .

خ ٤ : التصدع الداخلي (الاقتلاع) ^(١٧) (Internaal fracture test (pull out) :

الغرض من الاختبار :

تحديد مقاومة الخرسانة المتصلدة ، وذلك عن طريق إيجاد علاقة بين مقاومة الضغط للخرسانة وبين القوة اللازمة لجذب خواير مدفونة من الصلب ، أو القوة اللازمة لإحداث تصدع داخلي نتيجة نزع أسفين مثبت بالخرسانة ، وهذا الاختبار لا يستغرق إلا عدة دقائق ، ولا يستهلك إلا طاقة محدودة ، ولا يسبب ضرراً بالغاً بالعضو المختبر ، وإنما حفرة مخروطية صغيرة يمكن إصلاحها بسهولة ، وهو لهذا السبب لا يعتبر اختباراً غير متلف مائة بالمائة ، وإنما هو متلف لدرجة ما (partially destructive test) ، والغرض من اختبار جذب قطع الصلب المدفونة مسبقاً هو تقدير مقاومة الخرسانة في الأيام الأولى لتحديد أقرب موعد لفك الشدة أو موعد بداية الشد اللاحق (post - tensioning) أو موعد إزالة الدعائم الرأسية (Shores) ، ولا يحتاج الأمر إلا إلى سطح واحد يتم تثبيت قطع الصلب به قبل أو أثناء الصب ، سواء كان السطح العلوي للبلاطة أو السطح الجانبي للكمرات .

أما اختبارات الاقتلاع والتصدع بدون أجزاء مدفونة مسبقاً فيمكن استخدامها في اختبار المنشآت القائمة - اختبار الأجزاء المشكوك فيها - وباستخدامه مع اختبار الموجات فوق الصوتية - مثلاً - يمكن الوصول إلى طريقة لتحديد مقاومة الخرسانة في المنشآت المعيبة في أماكن كثيرة وبدون صعوبة أو تكلفة كبيرة .

واختبار اقتلاع القطع المدفونة لتحديد مقاومة الخرسانة معروف منذ الثلاثينات ، ولكن التطور الذي حدث له ليتمكن استخدامه في اختبار الخرسانة في أي عمر وفي أي موضع ، تم مؤخراً وهو يتمثل في اختبار كابو (Copo test) واختبار التصدع الداخلي ، وميزة هذه الاختبارات أن مهندس الإشراف يستطيع اختيار أي مكان لإجراء الاختبار عليه ، بينما في اختبار الاقتلاع لابد من تحديد الأماكن المطلوب اختبارها مسبقاً ودفن قطع الحديد فيها قبل أو أثناء الصب .

طريقة إجراء الاختبار :

حتى الآن توجد طريقتان لإجراء هذا الاختبار :

الطريقة الأولى : اختبار خواير صلب مدفونة فى أماكن محددة سلفا ، ثم جذبها فى الوقت المطلوب ، وهو ما يعرف باختبار لوك (lock type) .

والطريقة الثانية : هى إدخال قطع الحديد فى العضو الخرسانى بعد فك الشدة فى المكان المطلوب عن طريق حفر ثقب ، ولها اختباران : اختبار كابو (capo test) واختبار التصدع الداخلى .

وميزة الطريقة الثانية عن الأولى هى عدم تحديد مكان الاختبار سلفا ، وإنما يمكن إجراؤه فى أى مكان من العضو الخرسانى .

أ - اختبار لوك lock test :

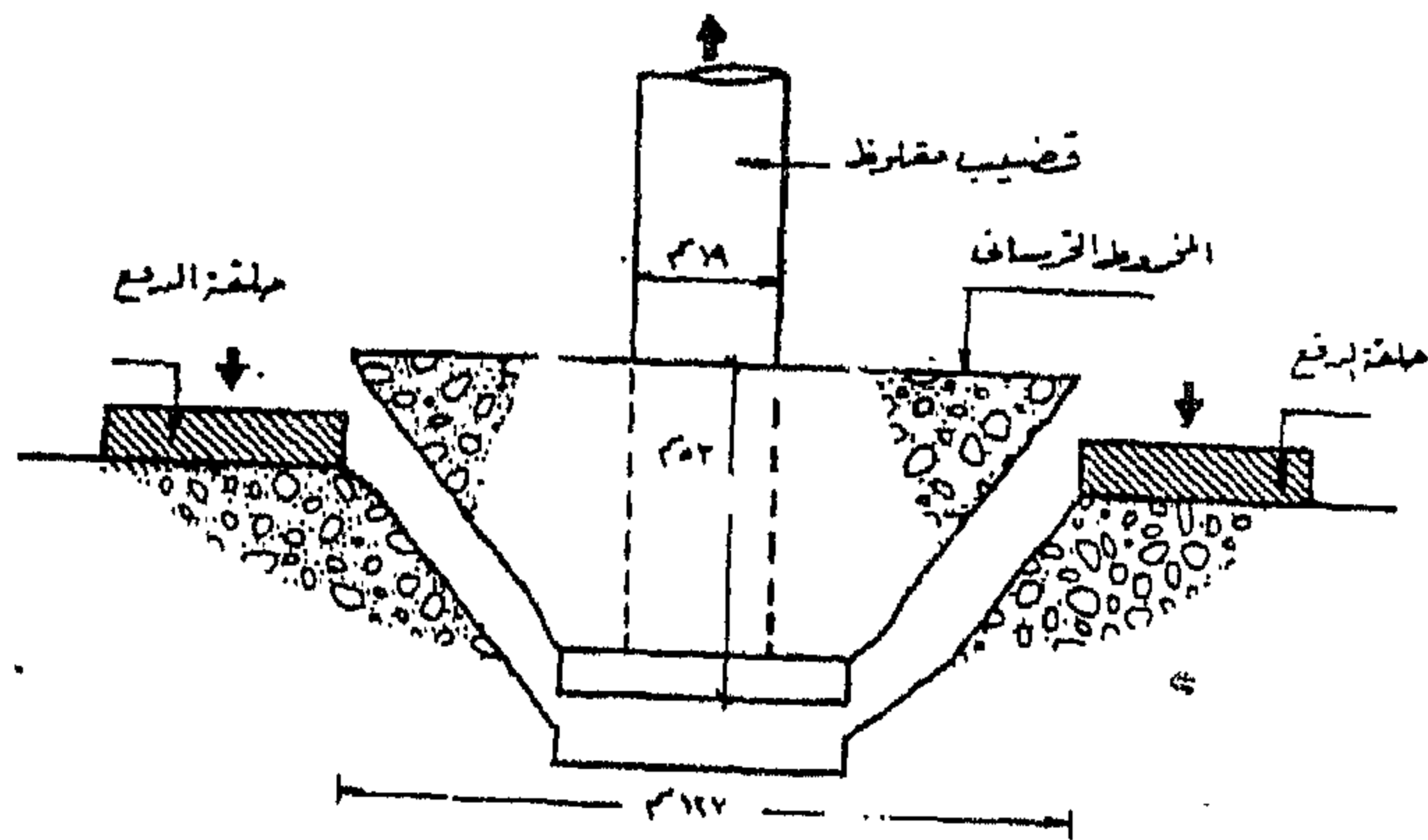
بدأ تطوير اختبار الاقتلاع الحالى - نوع لوك - فى الجامعة التكنولوجية بالدمارك فى الستينات ، ثم وضعت له الأبعاد القياسية فى المركز التكنولوجى للمعادن والطاقة بكندا بعد ذلك ، والاختبار عبارة عن دفن قضيب له رأس فى العضو الخرسانى ، وعند العمر المطلوب يتم نزع مع المخروط الخرسانى الملتصق به باستعمال إسطوانة مفرغة سبق معايرتها ، وبعد قياس قوة الجذب المطلوبة يمكن الحصول على مقاومة الخرسانة للضغط من المنحنيات الخاصة بذلك .

والأبعاد القياسية للخابور المدفون هى : القطر ١٩ مم ، قطر الرأس ٥٧ مم ، طول الجزء المدفون ٥٣ مم ، أما حلقة الدفع فقطرها الداخلى ١٢٧ مم - شكل (٣ / ٢٠ - أ) - وهذه الأبعاد تؤدى إلى أن تكون المساحة السطحية للمخروط المنزوع من الخرسانة فى حدود ١٨٢ سم^٢ ، وقد أظهرت التجارب أن العلاقة بين قوة الجذب ومقاومة الضغط للخرسانة لا تعتمد على نوع الركام أو الأسمنت ولا على نسبة الأسمنت فى الخلطة وقيس الاختبار مقاومة الخرسانة للقص المباشر .

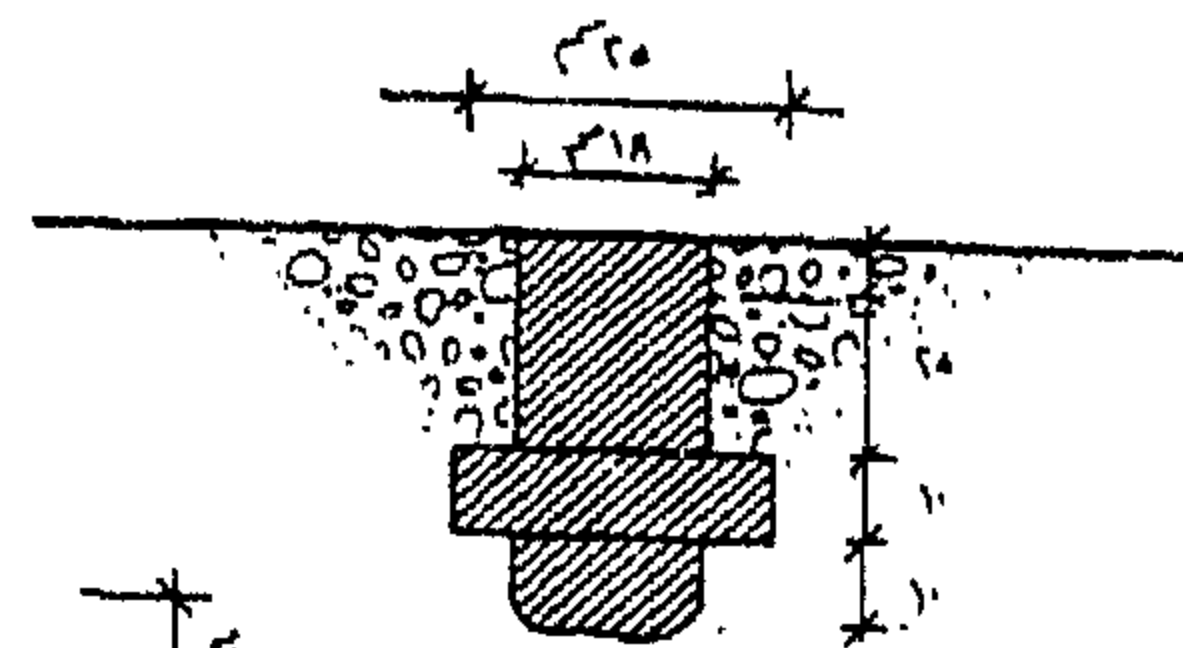
والعيب الأساسى لهذا الاختبار هو الحاجة إلى تحديد أماكن الاختبار مسبقا قبل صب الخرسانة ، ومن ثم فلا يمكن استخدامه فى قياس مقاومة الخرسانة للمبانى القائمة ، والعيب الآخر أنه اختبار متلف إلى حد ما ، وهو كذلك اختبار سطحي أى لا يتعامل مع الخرسانة الموجودة فى أعماق كبيرة .

ب - اختبار كابو Capo test :

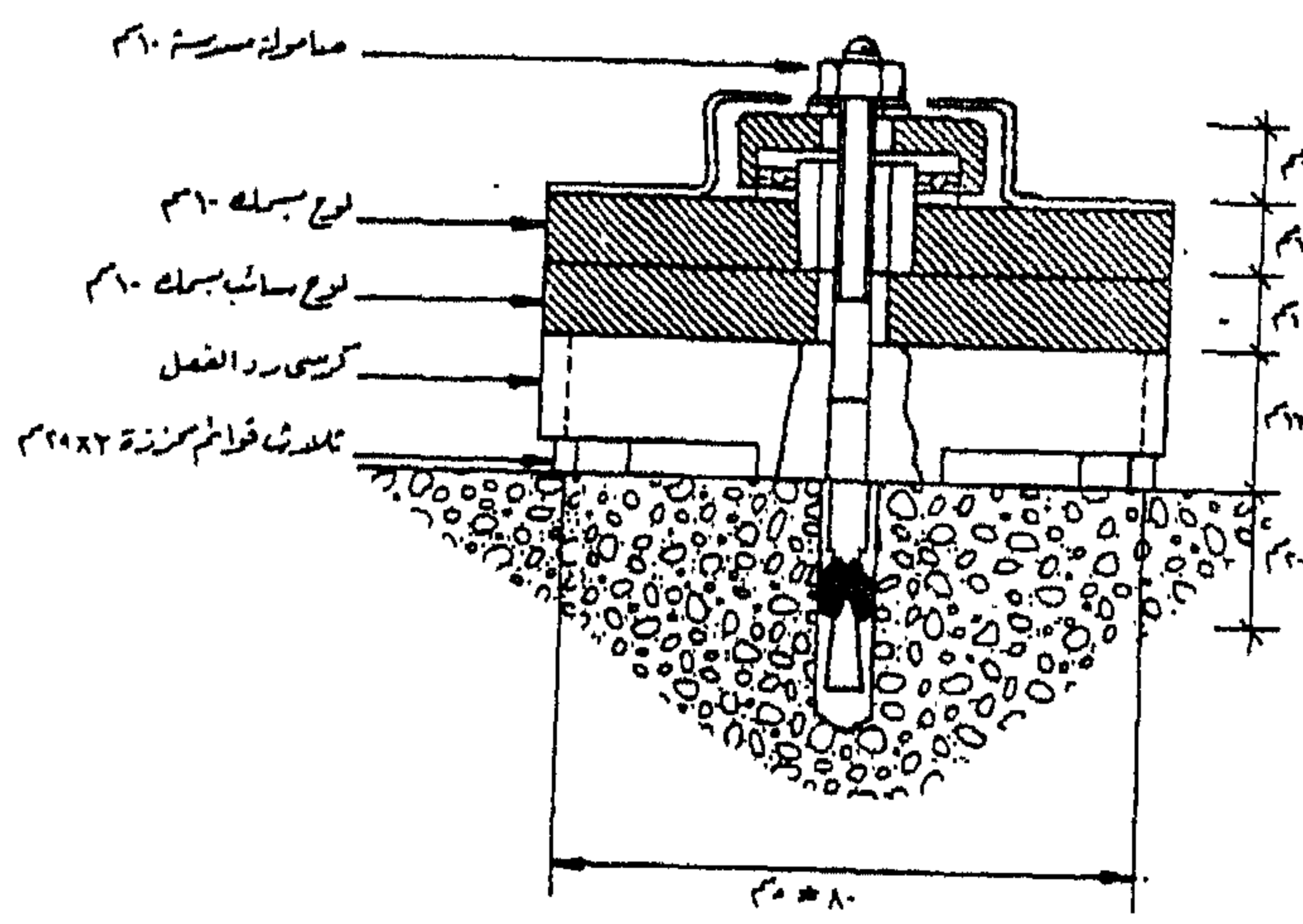
وهو قائم على عمل ثقب بالخرسانة ، ثم وضع قضيب مخصوص له قرص عرضى فى هذا الثقب ، وإجراء اختبار الجذب بعد ذلك بالخطوات الآتية :



٢ اختبار الجذب (نوع لوك) (Lock type)



ب، اختبار الجذب (نوع كابو)



Internal fracture

ج، اختبار التصدع الداخلي

شكل (٣ / ٢٠) أنواع اختبارات الجذب - التصدع الداخلي

١ - يتم حفر ثقب بقطر ١٨ مم وعمق ٤٥ مم فى اتجاه عمودى على السطح ، ويعمل قطع عرضى فى هذا الثقب عند عمق ٢٥ مم ، هذا القطع بقطر ٢٥ مم وارتفاع ١٠ مم ، ويعمل عن طريق ماكينة تفريز (Milling machine) يدوية - شكل (٣ / ٢٠ - ب) .

٢ - يتم وصل قرص متعدد من نوع خاص ذى قطر خارجى ١٨ مم بمسمار قلاووظ Bolt ويتجرى إنزاله فى الثقب حتى يصبح القرص أمام القطع العرضى ، ثم يلف المسمار حتى يتمدد القرص تدريجياً من ١٨ إلى ٢٥ مم حتى يملأ القطع العرضى .

٣ - بعد ذلك يتم جذب المسمار بنفس طريقة اختبار الجذب - نوع لوك - السابقة ، وتعيين قوة الجذب لتقدير مقاومة الخرسانة للضغط .

ج - اختبار التصدع الداخلى Internal fracture :

وقد تم تطويره فى مركز بحوث البناء البريطانى ، ويقوم على إدخال مسمار ذى أسفين يتمدد عند إدارته فى ثقب يتم عمله فى الجزء المراد اختباره ، ثم يستمر الدوران حتى التصدع الداخلى لمخروط من الخرسانة وذلك بالخطوات الآتية :

١ - يتم عمل ثقب عمودى بعمق من ٣٠ - ٣٥ مم لمسمار الثبيت القياسى ذى قطر ٦ مم عن طريق المثقاب الدقاق (Roto - hammer drill) ، ثم ينظف الثقب من الأتربة بالهواء المضغوط .

٢ - يدق المسمار داخل الثقب حتى عمق معين بحيث يصبح أسفين الثبيت - أو الأجنحة المتمددة - على عمق ٢٠ مم من السطح - شكل (٣ / ٢٠ - ج) - مع التحقق من رأسية المسمار عن طريق ثقب ألواح الصلب المينة فى الجهاز .

٣ - يحمل المسمار بعزم خارجى بمعدل ثابت عن طريق مقياس العزم (Torque meter) ، وبعد تحميله بالعزم الكافى لتمدد الأجنحة وتماثل الثبيت بالخرسانة ، يتم زيادة العزم بمعدل ٥ ، دورة كل ١٠ ثوانى حتى القيمة القصوى ، ثم يرفع الجهاز وينشر المسمار ، وتقدر قيمة مقاومة الضغط للمكعب من المعادلة .

$$\text{مقاومة الضغط للمكعب} = 3,74 \times (\text{العزم})^{1,00} .$$

والجهاز المستخدم هو جهاز ثلاثى القوائم ، عبارة عن حلقة من الصلب بقطر ٨٠ مم ، بها لوحان بسلك ١٠ مم ، بكل منهما ثقب مركزى ، ويتم التحميل بمقياس عزم ذى قدرة

طن واحد .

خ ٥ : اختبار الدفع Push - off test :

الغرض من الاختبار :

الحكم على جودة البلاطات الخرسانية من حيث وجود التعشيش ، أو ضعف الخرسانة ، أو عدم كفاية سمك البلاطة .

طريقة إجراء الاختبار :

هو عكس اختبار الجذب ، حيث يتم عمل ثقب في الخرسانة إلى عمق يتم تحديده مسبقا ، ثم يستعمل الضغط الهيدروليكي في دفع مخروط خرساني من بطنية البلاطة ، ويحدد مقدار الضغط المطلوب للوصول إلى عمق محدد جودة الخرسانة أو ضعفها .

خ ٦ : اختبار وندسور Windsor probe test :

الغرض من الاختبار .

تقدير مقاومة الخرسانة المتصلدة .

طريقة إجراء الاختبار :

يتم الاختبار بإطلاق طلقات (Pins) من الصلب القوي من أسياخ رفيعة لها طول وقطر محددان بداخل السطح الخرساني من مسدس خاص ، ويمكن الحكم على قوة الخرسانة بقياس الجزء من الطلقة (Probe) الذي لم يدخل في العضو الخرساني . وهذا الاختبار منتشر أكثر في الولايات المتحدة وكندا .

خ ٧ : اختبار المطرقة المرتدة (مطرقة شميدت) (١٣)، (١٨) Rebound (schmidt) hammer :

الغرض من الاختبار :

قياس الصلابة السطحية للخرسانة المتصلدة (surface hardness) ، ويعطى هذا الاختبار فكرة عن مقاومة الخرسانة المختبرة .

طريقة إجراء الاختبار :

يتم التعرف على صلابة السطح عن طريق قياس الطاقة المبدولة من ارتداد قضيب الصلب نتيجة الضغط به على سطح الخرسانة المختبرة .

ويجرى الاختبار بأن يتم شحن كتلة معينة من الصلب بالطاقة Kinetic energy عن طريق اليايات ، وذلك بالضغط التدريجي بالقضيب الغاطس على السطح المطلوب اختباره - شكل (٢٢/٣) - وعند إطلاق كتلة الصدم فإنها تصدم القضيب الملاصق للخرسانة ، بعد هذا الاصطدام ترتد الكتلة ويتم قياس طاقة الارتداد ، وتظهر رقم الارتداد على مقياس رقمى شكل (٢١/٣) ، وباستخدام المنحنى الموجود على المطرقة يمكن تقدير قيمة مقاومة الضغط المقابلة لرقم ارتداد معين ، وعندما يكون المطرقة فى وضع غير أفقى - عند اختبار أسطح غير رأسية - فلا بد من تصحيح قراءة الارتداد حسب زاوية المطرقة ، نظرا للتغير الحادث فى طاقة الصدم بتغير زاوية المطرقة .

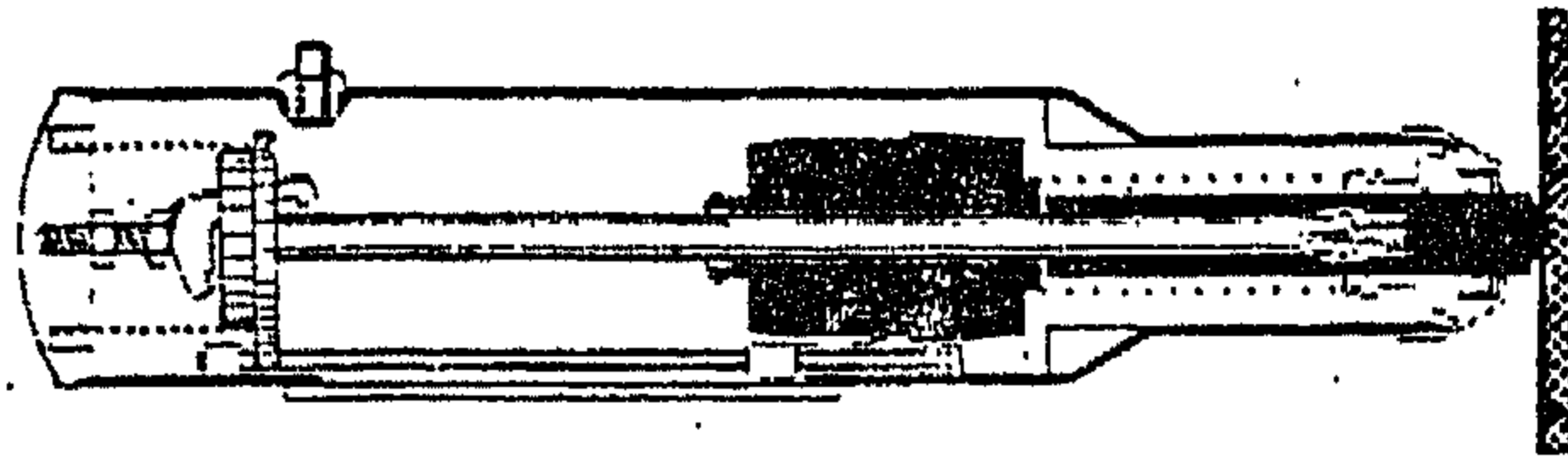
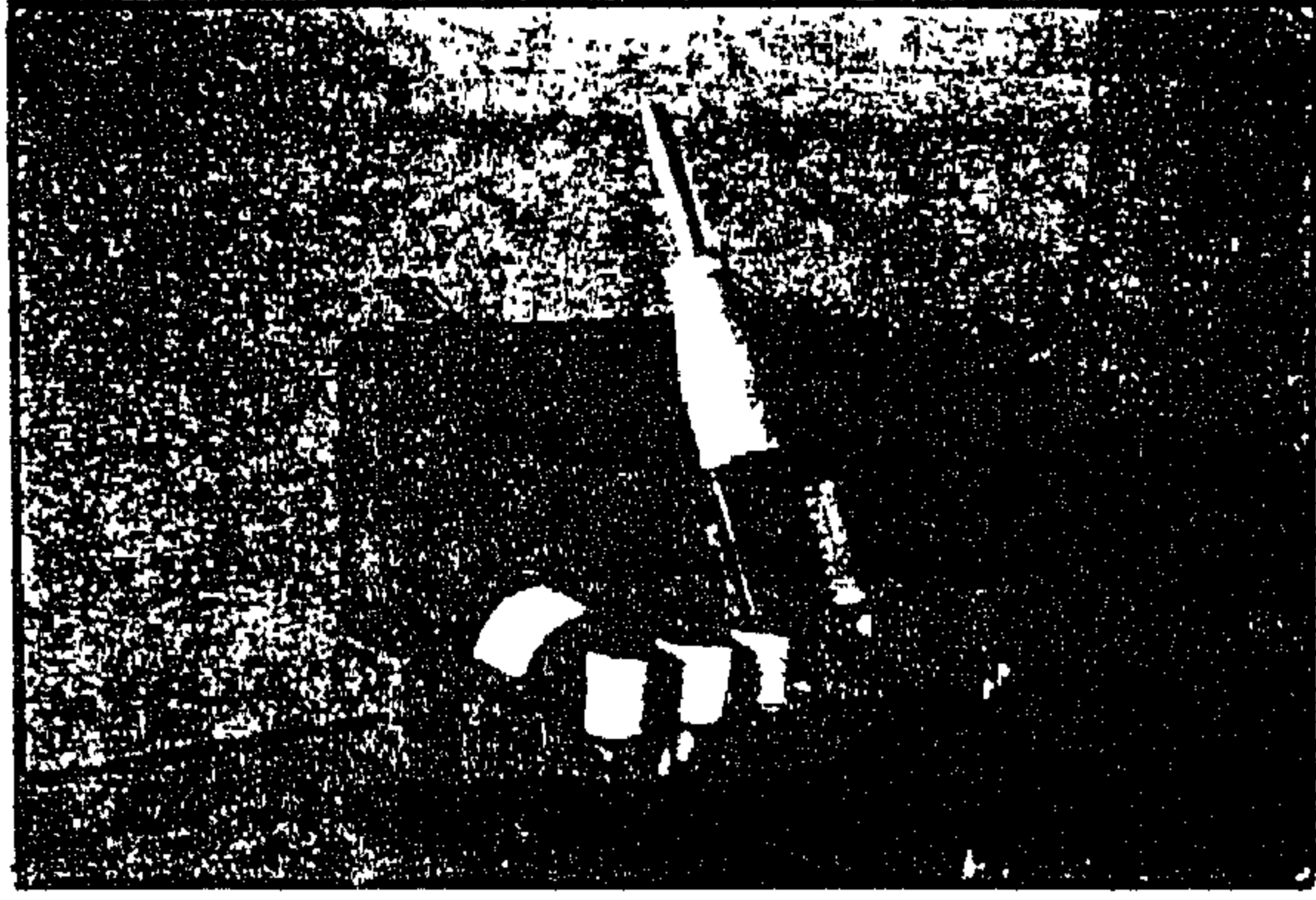
والمتانة السطحية هى خاصية نسبية تختلف من مكان لآخر فى نفس العضو الخرساني ، ومن غير الممكن أن تكون هناك علاقة ثابتة بينها وبين باقى خواص الخرسانة ، غير أن الملاحظ أنه كلما زادت قيمة رقم الارتداد كلما زادت مقاومة الخرسانة ، والعلاقة بين رقمى الارتداد والمقاومة تتأثر بعوامل عدة ، منها :

أ - الاختلافات الذاتية فى الأجهزة .

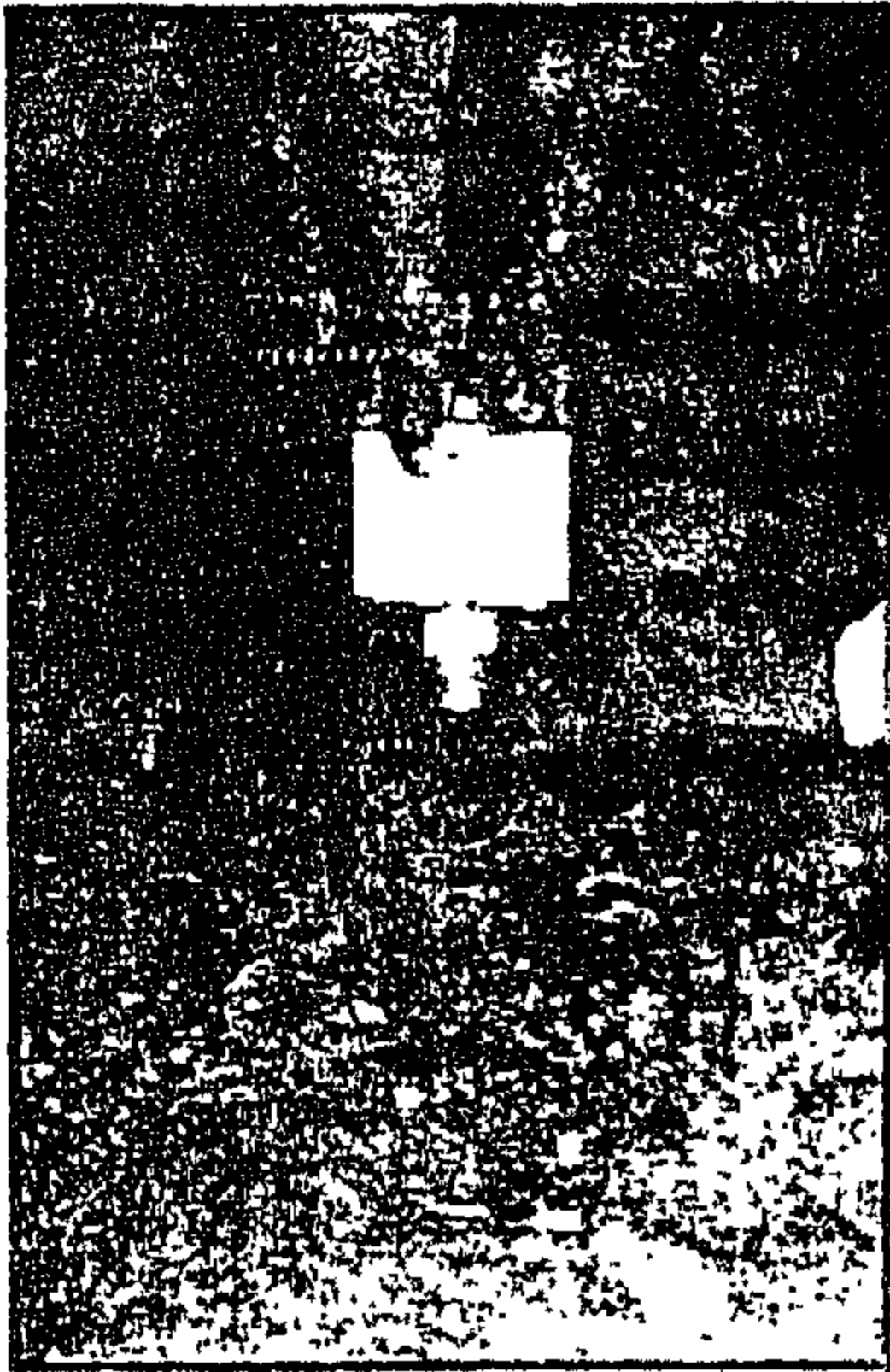
ب - مؤثرات من الخرسانة مثل : حالة السطح ، نسبة الرطوبة ، نوع وكمية الأسمنت ، نوع الركام وتدرجه ومقاسه الاعتبارى الأكبر وقربه من السطح .

وقد أجريت أبحاث كثيرة فى العقود الثلاثة الماضية لدراسة تأثير هذه العوامل على عدم دقة نتائج هذا الاختبار ، ورغم ذلك فإن هذا الاختبار يستخدم بكثرة بمفرده لتقدير مقاومة الخرسانة نظراً لسهولة إجراؤه وقلة تكلفته ، إذ يعتمد كثير من الاستشاريين إلى حمل هذه المطرقة إلى المبنى المراد تقويمه ، وبعد قيامهم بقياس الارتداد فى عدة أماكن يصلون إلى نتائج عن مقاومة الخرسانة يبنون عليها حكمهم ، ولكن هذه النتائج غير مضمونة لسببين رئيسيين :

أولاً : أن هذه المطرقة تعاير على أساس نوع معين من الخرسانة من مواد معينة وظروف صناعة وصب خاصة ، ومنحنى المعايرة إذن صالح لمثل هذه الظروف فقط ولا بد من معايرتها للظروف المطلوب استخدامها فيها ، ورغم ذلك فمجال الخطأ بعد المعايرة يصل إلى $\pm 20\%$ فى حالة الخرسانة الجيدة وإلى $\pm 50\%$ فى حالة الخرسانة السيئة (٢٠) .



شكل (٢١/٣) جهاز مطرقة الارتداد



ب - معايرة المطرقة



أ - طريقة استعمال المطرقة

شكل (٢٢/٣) طريقة استعمال ومعايرة مطرقة الارتداد

ثانياً : أن هذا الاختبار يقيس صلابة السطح ، وعادة ما يتعرض سطح الخرسانة لعوامل غير تلك التي يتعرض لها بقية المقطع من الداخل ، ولهذا السبب فليس من الدقة اعتبار مقاومة السطح هي مقاومة المقطع كله ، حيث تلعب المعالجة وامتصاص الماء والتحول الكربوني دوراً كبيراً في اختلاف مقاومة السطح عن مقاومة قلب الخرسانة ، كما تؤثر نوعية الشدة ومدى امتصاصها للماء ودرجة نفاذيتها للمونة على نتائج القراءات ، فالجهة السفلية للبلاطة مثلاً تكون أكثر صلابة من الجهة العلوية .

وحتى تصبح نتائج هذا الاختبار أكثر دقة فلا بد من مراعاة الأمور الآتية :

- أ - لا بد من معايرة المطرقة على نوعية الخرسانة المستخدمة في المنشأ.
- ب - إذا كانت نتائج الاختبار ستستخدم في الحكم على قوة الخرسانة فلا بد من إيجاد علاقة بين قيم المطرقة وقيم اختبار القلب الخرساني Core في أحد الأعضاء تستخدم في الحكم على بقية الأعضاء .
- ج - لا بد من معرفة العوامل المؤثرة في نتائج الاختبار بجعلها أعلى أو أقل من المقاومة الفعلية ، حتى يمكن أخذ ذلك في الاعتبار ، وبعض هذه العوامل مبين في جدول (١٠/٣) (١٩) .

خ ٧ : اختبار الموجات فوق الصوتية (١٣)

Ultrasonic Pulse Velocity Measurements :

الغرض من الاختبار :

- ١ - قياس كثافة الخرسانة وجودة دمكها .
- ٢ - تسجيل زيادة المقاومة لتحديد زمن فك الشدة وزمن فك أسلاك الإجهاد السابق .
- ٣ - تقدير مقاومة الخرسانة .
- ٤ - قياس سمك الغطاء الخرساني وعمق التأثير بالحربان أو هجوم الكبريتات .
- ٥ - الكشف على وجود فجوات أو شروخ داخل الأعضاء الخرسانية .

العامل	قراءات خادعة أعلى من المقاومة الفعلية	قراءات خادعة أقل من المقاومة الفعلية	ملاحظات
أماكن الاختبار في المنشأ	- أجزاء بها كمية كبيرة من المواد الناعمة - سطح البلاطة السفلى - الجزء السفلى من العמוד - الأعضاء الخرسانية السمكية	- سطح البلاطة العلوى - الجزء العلوى من الأعمدة والحوائط - الأعضاء الخرسانية النحيفة	الاختلاف ناشئ عن اختلاف حقيقى في مقاومة الخرسانة فى الأماكن المختلفة وليس بسبب طريقة الاختبار
نوعية الأحمال	- السطح العلوى للبلاطة والكمره فى منطقة العزوم الموجبة . - السطح السفلى للبلاطة والكمره فى منطقة العزوم السالبة . - الخرسانة سابقة الإجهاد .	مناطق الخرسانة المعرضة لإجهادات شد	العناصر الخرسانية المعرضة للضغط تعطى قيما عالية وهذا أثر ناتج عن طريقة الاختبار
عمر الخرسانة	بعد ٧ أيام (فى حدود ١٠ - ٢٠ ٪ طبقا لنوعية الخرسانة)	بعد ثلاثة أيام	القيم الصحيحة بعد ٢٨ يوما
نوع الأسمنت	- عند زيادة نسبة الكلنكر عن ٤٠ ٪ - الأسمنت الحديدى	- عند انخفاض نسبة الكلنكر عن ٤٠ ٪ - الأسمنت المقاوم للكبريتات	القيم الصحيحة عند استخدام الأسمنت البورتلاندى العادى
كمية الأسمنت	—	زيادة كمية الأسمنت عن ٣٠٠ كجم/م ^٣	أثر ناتج عن طريقة الاختبار
الركام	- زيادة نسبة الركام وقربه من السطح	- ركام من الحجر الجيرى	أثر ناتج عن طريقة الاختبار
الشدّة	شدّة خشبية ماصة للماء	- شدّة ناعمة غير منفذة - الأسطح غير الملامسة للشدّة	لأن الاختبار يقيس الصلابة السطحية
الرطوبة	—	سطح رطب (قد يصل الخطأ فى القيمة إلى ٥٠ ٪)	القيم الصحيحة عند سطح الخرسانة المعرضة للهواء
درجة الحرارة	—	درجات الحرارة المنخفضة (حول الصفر) تخفض القيمة	—
حالة المطرقة	—	- تنخفض قيم القراءات عند الاحتكاك بسبب اتساخ المطرقة - تنخفض القراءات بسبب نقص كفاءة الجهاز لكثرة استعماله	—
أثر الجاذبية	الأسطح السفلية للبلاطات	الأسطح العلوية للبلاطات	القيم الصحيحة عندما يكون محور المطرقة أفقيا

جدول (١٠/٣) - بعض العوامل التى تعطى نتائج خادعة عند

استخدام المطرقة شميدت (١٩)

طريقة إجراء الاختبار :

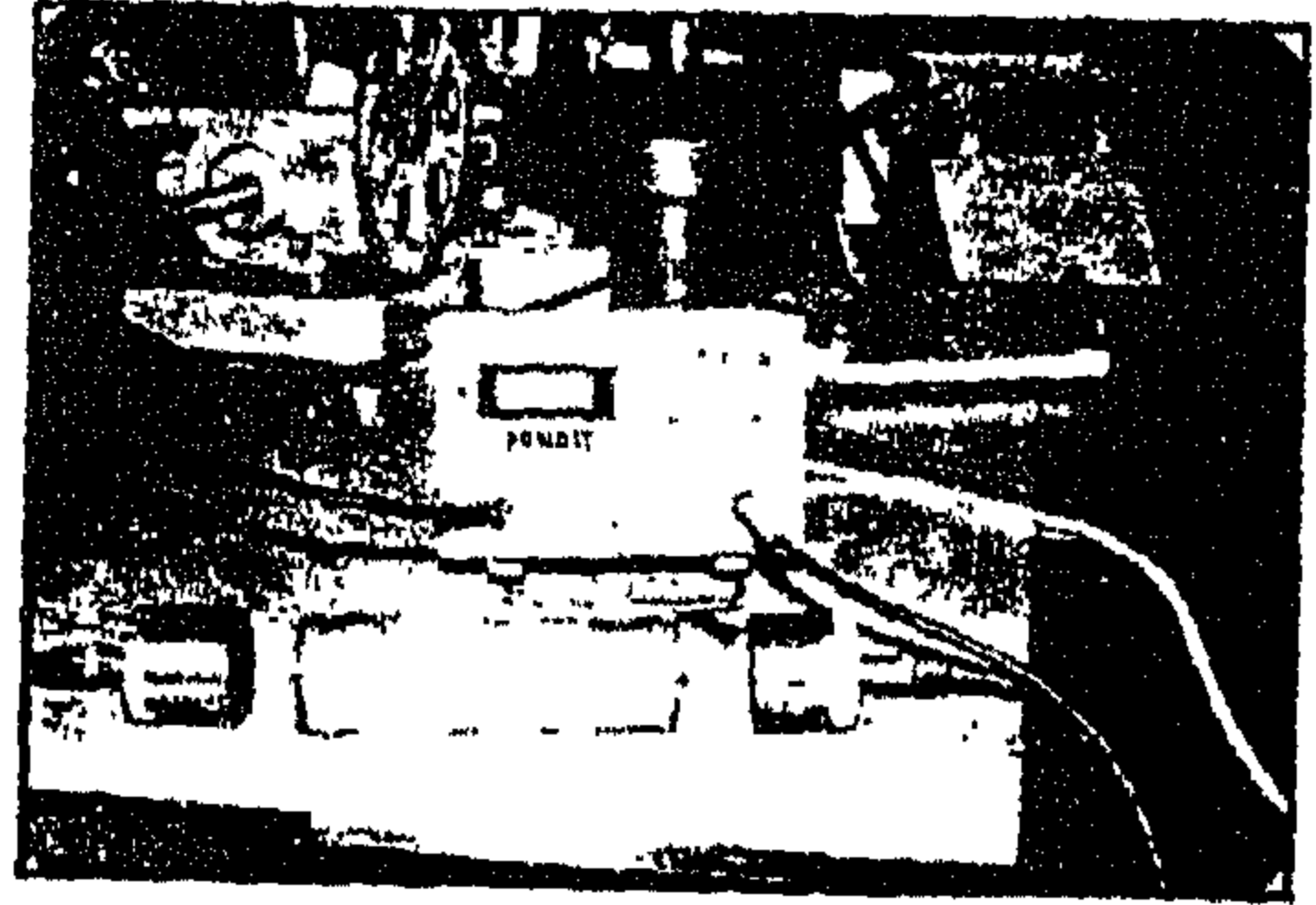
فى هذا الاختبار يتم إرسال نبضة كهربائية من جهاز الإرسال على أحد أسطح العضو الخرسانى واستقبالها على السطح المواجه له - شكل (٢٣/٣) - ويتم قياس الوقت اللازم لمرور النبضة فى العضو الخرسانى بطريقة إلكترونية ، وبمعرفة المسافة بين جهازى الإرسال والاستقبال يمكن تحديد سرعة النبضة ، وهذه السرعة (V) لها علاقة بمعايير المرونة الديناميكية (E) وكثافة الخرسانة (D) ونسبة بواسون الديناميكية (U) كما يلى :

$$V = \sqrt{\frac{E}{D} \frac{(1-U)}{(1+U)(1-2U)}}$$

وفى حالة وجود حائل فى طريق النبضة - مثل شرح داخلى - فإنه يحدث تغير كبير فى سرعة النبضة نتيجة زيادة طول مسارها شكل (٢٤ / ٣ - أ) ، ويمكن اكتشاف الفواصل الداخلية عند حدوث ضعف فى قوة الإشارات التى تظهر على شاشة جهاز مرسمة التذبذبات (Oscilloscope) - شكل (٢٤ / ٣ - ب) - وعدم استقبال إشارة على الشاشة يدل على أن هناك فاصلا داخليا كبيرا - شرح عريض وعميق أو فجوة - اعترض مسار النبضة ، ويمكن تحديد طول هذا الفاصل بتحريك جهازى الإرسال والاستقبال على جانبي العضو الخرسانى لأخذ قراءات فى أماكن متعددة .

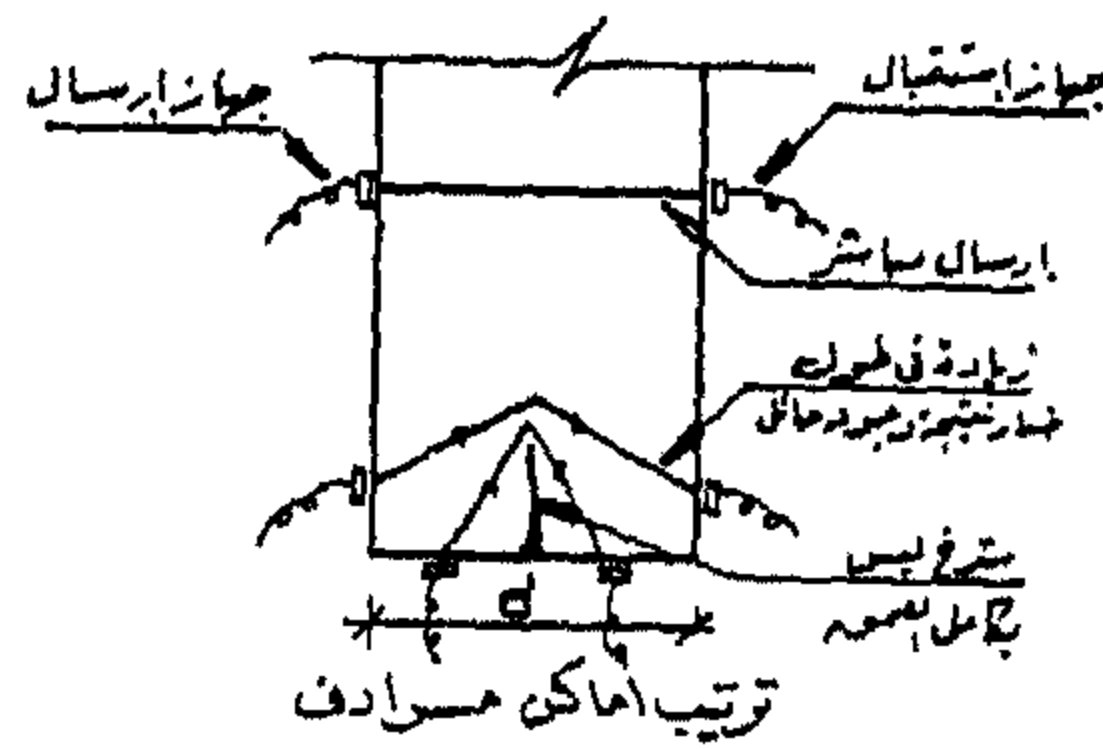
أما بالنسبة لتحديد مقاومة الخرسانة للأحمال ، فإن الاختبار يقع فى المجموعة التى تعطى فكرة عن المقاومة ولا تعطى قيمة المقاومة بطريقة مباشرة ، وقد ذهب بعض الباحثين إلى أنه من غير الممكن إيجاد علاقة عامة بين سرعة النبضة ومقاومة الخرسانة ، وأعطى بعضهم علاقات استرشادية كالمبينة فى جدول رقم (١١ / ٣) ، وإذا روعيت فى هذا الاختبار الدقة والعناية المطلوبة وقام به فنيون مدربون ، فإنه يمكن إيجاد علاقة بينه وبين مقاومة القلب الخرسانى - فى حدود ١٠ ٪ - ولكن على المهندس أن يحدد العلاقة الرياضية المناسبة لكل حالة على حدة ، ويتم ذلك إذا توفرت مجموعة من المكعبات الخرسانية من نفس خرسانة المنشأ ولها نفس العمر ، وباختبار هذه المكعبات بالموجات فوق الصوتية وبالتهشيم يمكن إيجاد العلاقة بين سرعة الموجة ومقاومة الضغط .

وحتى إذا لم يمكن إيجاد علاقة محددة مع مقاومة الضغط فإنه يمكن استخدام هذا الاختبار فى إعطاء صورة دقيقة لجودة الخرسانة فى عضو أو مجموعة أعضاء ، ويمكن

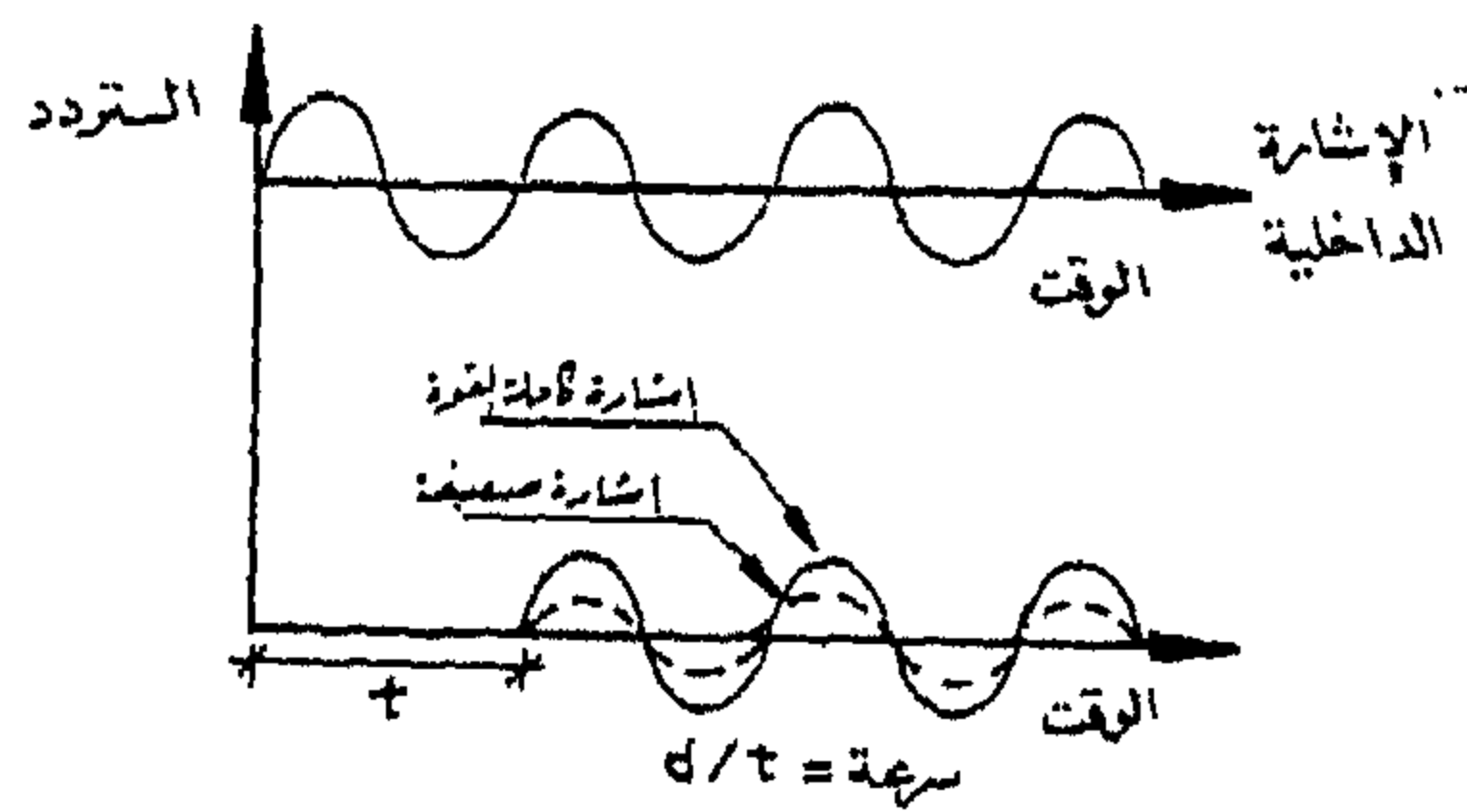


أ - مكونات الجهاز ب - كيفية استخدام الجهاز

شكل (٣ / ٢٣) جهاز الاختبار بالموجات فوق الصوتية



(٢) النبضة المنقولة عبر العضو الخرساني



ب. إشارات جهاز مرسلة المذبذبات (Oscilloscope)

شكل (٣ / ٢٤) الاختبارات فوق الصوتية Ultrasonic عن طريق

إرسال واستقبال النبضات

سرعة الموجات فوق الصوتية (كجم / ث)	أكبر من ٤,٥	٣,٥ - ٤,٥	٣ - ٣,٥	٢ - ٣	أقل من ٢
نوعية الخرسانة	ممتازة	جيدة	مشكوك فيها	سيئة	سيئة جداً

جدول (٣ / ١١) نوعية الخرسانة طبقاً لسرعة الموجات فوق الصوتية . (١٩)

عمل رسم بياني للسرعات واختلافها من نقطة لأخرى وحساب معاملات الاختلاف (Coeff. of variation) التي يجب ألا تتعدى ٣ ٪ لعدة صببات من الخرسانة في نفس اليوم ولا تتعدى ٦ ٪ للمنشأ ككل - كما جاء في المواصفات البريطانية .

كما استخدمت هذه الطريقة بنجاح في رصد زيادة المقاومة مع الوقت لتحديد زمن فك الشدة أو زمن فك رباط أسلاك الشد السابق ، واستخدمت كذلك في تحديد عمق ودرجة التلف بالحريق أو بهجوم الكيماويات على الأعضاء الخرسانية .

وفي حين أن هذه الطريقة تمتاز بأنها تعطي نتائج متجانسة بالنسبة للمقطع ككل ، ولا يوجد اختلاف بين السطح والقلب ، وتستطيع أن تكتشف أى عيوب داخلية رئيسية إلا أنها تتأثر بعدد من العوامل مثل - انظر شكل (٣ / ٢٥) - :

- ١ - نوع وتدرج الركام .
- ٢ - نوع وكمية الأسمنت ونسبة الماء إلى الأسمنت .
- ٣ - درجة الدمك ودرجة الحرارة أثناء المعالجة .
- ٤ - رقم الانفعال العرضي - نسبة بواسون .
- ٥ - شكل ومقاسات العضو الخرساني وكمية التسليح .
- ٦ - محتوى رطوبة العضو الخرساني .

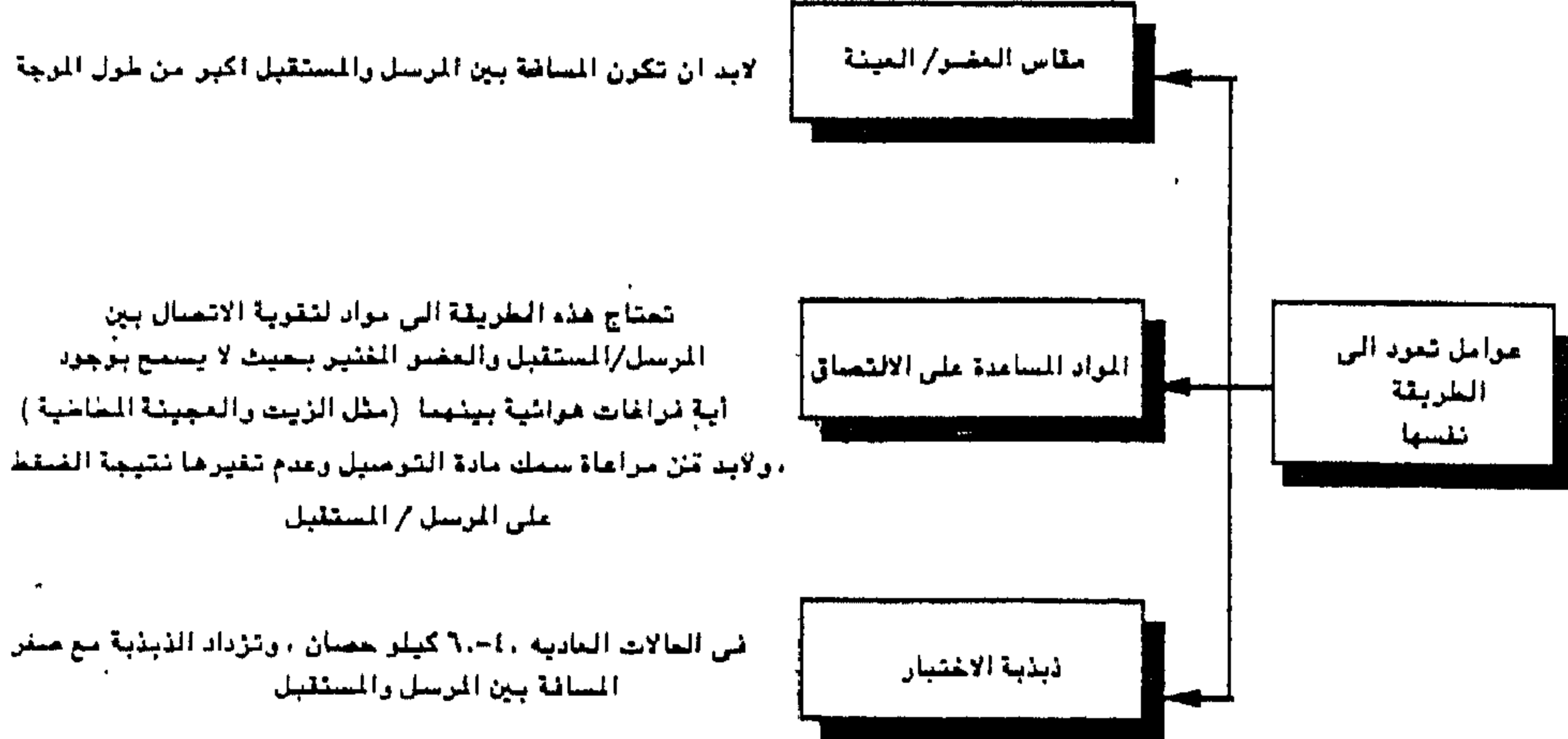
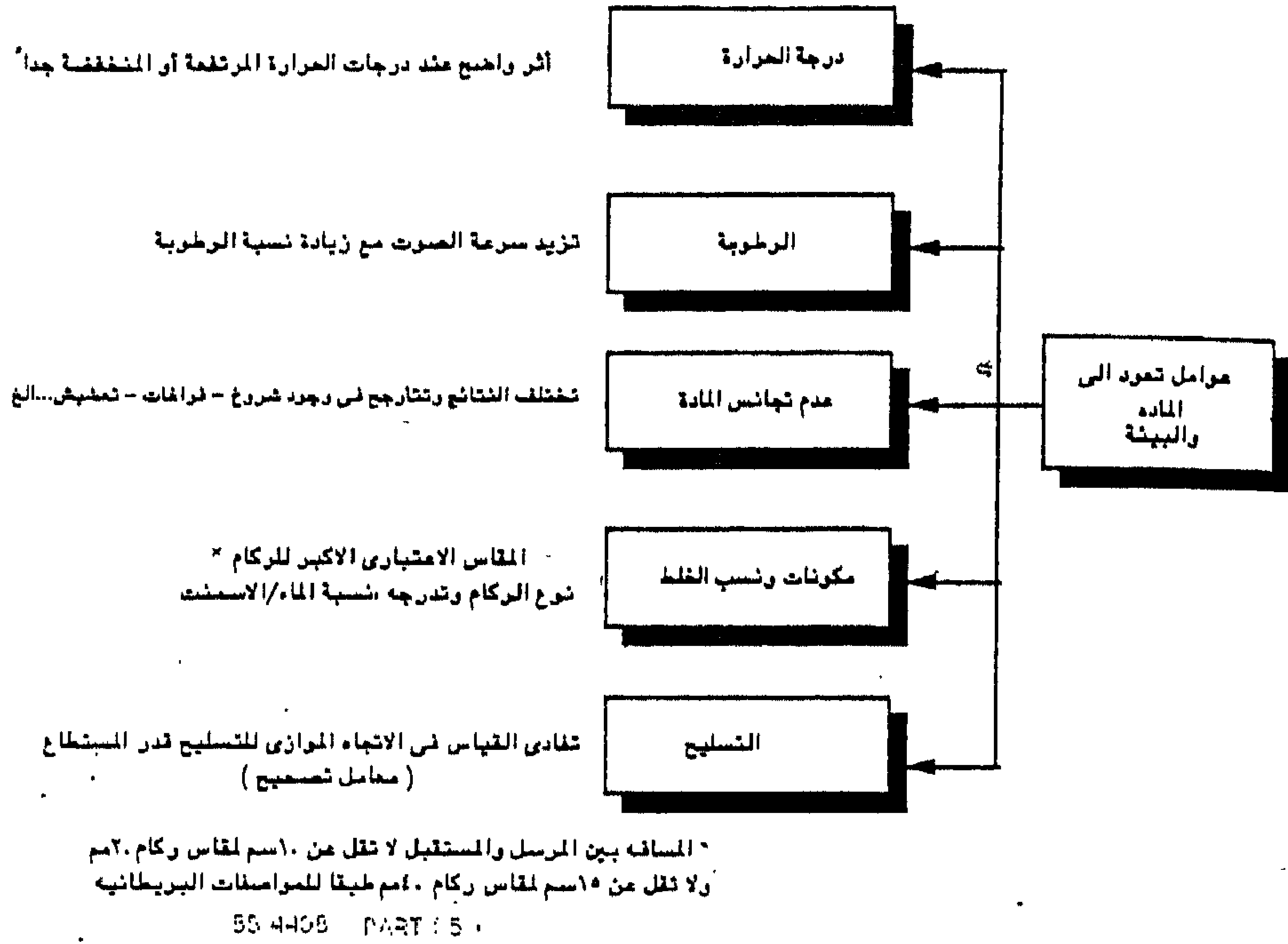
ويجب أن يتم تشغيل أجهزة اختبار الموجات فوق الصوتية بواسطة فنيين مدربين ، كما يجب أن يتم تحليل النتائج بحذر بواسطة مهندس أو فني له خبرة واسعة في هذا المجال ، حيث إن نسبة الرطوبة الداخلية - الماء الداخلي - وصلب التسليح والأشياء المدفونة في الخرسانة يمكن أن تؤثر على النتائج ، فمثلاً إذا كانت هناك شروخ داخلية وكانت هذه الشروخ مملوءة تماماً بالماء فسيصبح الاختبار غير فعال ، وفي بعض الحالات

يصبح من الصعب التمييز بين مجموعة من الشروخ الصغيرة المتقاربة وبين شرخ واحد كبير .

وبمقارنة العوامل المؤثرة على نتائج اختبار المكعبات ، ونتائج اختبار كل من المطرقة المرتدة والموجات فوق الصوتية ، يتضح أن هناك كثيرا من العوامل المشتركة - جدول رقم (١٢ / ٣) .

العامل المؤثر على نتائج الاختبارات	تهشيم المكعبات	المطرقة المرتدة	الموجات فوق الصوتية
دقة جهاز الاختبار	×	×	×
دقة تحضير العينة	×	-	-
دقة قياس العينة	-	-	×
تاريخ المعالجة	×	×	×
نوع وتدرج الركام	×	×	×
نوع وكمية الأسمنت	×	×	×
نسبة الماء / الأسمنت	×	×	×
درجة الدمك	×	×	×
عمر الخرسانة	×	×	×
حالة السطح	-	×	-

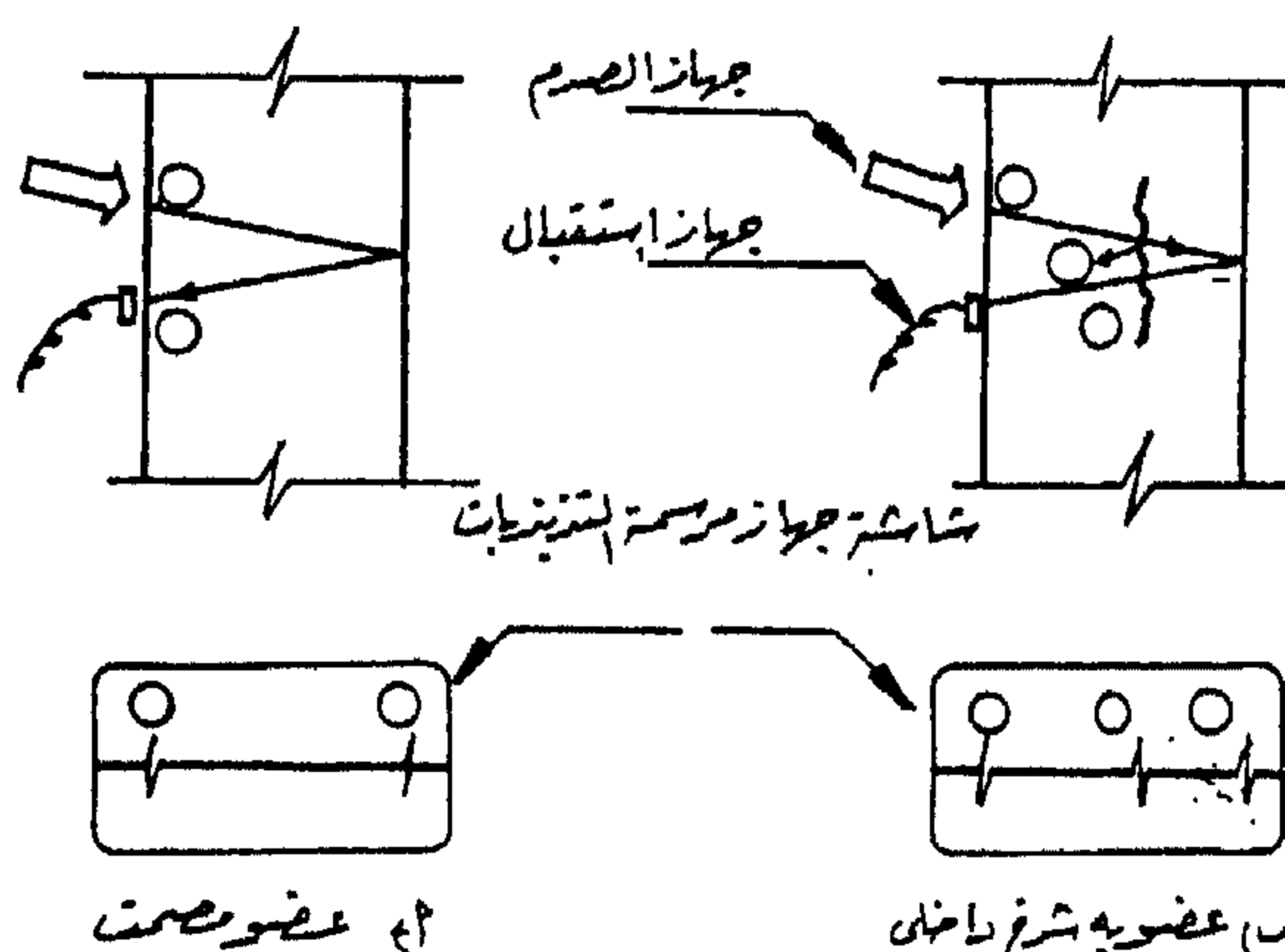
جدول (١٢ / ٣) العوامل المؤثرة على نتائج الاختبارات



شكل (٣ / ٢٥) العوامل المؤثرة في نتائج اختبار الموجات فوق الصوتية (١٩)

وهناك أسلوب آخر يستخدم فى الاختبارات فوق الصوتية وهو أسلوب الصوت والصدى ، والميزة الأساسية لهذا الأسلوب هو أن المطلوب يصبح الوصول إلى سطح واحد للعضو وليس السطحين معاً ، وصعوبة الوصول إلى أحد وجهى العضو تتكرر كثيراً بالنسبة للأعضاء المجاورة لجار مصمت أو المدفونة تحت الأرض ، وفى هذا الأسلوب يتم عمل نبضة ميكانيكية عن طريق الصدم على أسطح العضو ، هذه الإشارة تمر خلال العضو وتنعكس على سطحه الخلفى ، ثم يتم استقبالها بجهاز استقبال على السطح الأمامى - شكل (٢٦ / ٣) - وفى حالة اختبار عضو مصمت ليس به شروخ فإن شاشة الجهاز يظهر عليها إشارة خاصة بالصدمة الأصلية وأخرى خاصة بانعكاسها - شكل (٢٦ / ٣) أما أية إشارات إضافية فهى تعنى وجود فواصل داخلية ، ويمكن فى هذا الأسلوب أيضاً تحديد سرعة النبضة بمعلومية سمك العضو .

ويعتبر الاستخدام الأكثر أهمية للاختبارات فوق الصوتية ، هو التشخيص وتحديد المواضع من المنشأ التى تحتاج إلى مزيد من الفحص والتنقيب .



شكل (٢٦ / ٣) الاختبارات فوق الصوتية عن طريق إرسال واستقبال الصوت

خ ٩ : اختبارات الأشعة Radio graphic techniques :

الغرض من الاختبار :

١ - الكشف عن جودة الدمك ، ووجود فراغات أو شروخ داخلية ، وهى مناسبة أكثر

فى اكتشاف الشروخ الموازية لاتجاه الإشعاع ومن الصعب أن تكشف الشروخ العمودية على اتجاه الإشعاع .

٢ - استمرارية الحقن فى مواسير كابلات الشد السابق .

٣ - مكان ووضع (Layout) صلب التسليح .

طريقة إجراء الاختبار :

اختبارات الأشعة تشمل الاختبارات بأشعة إكس وجاما ، وتشمل الاختبار بالرادار .

أ - الاختبار باستعمال أشعة إكس وجاما (١٣) :

ويتم الاختبار بوضع لوح تصوير مناسب على أحد أسطح العضو المختبر ، ومصدر مشع على الوجه المقابل ، وتتكون الصورة الناتجة من مناطق داكنة ومناطق فاتحة اللون ، وتناسب درجة السواد فى الصورة مع كمية الإشعاع التى يتم استقبالها ، وعلى هذا فسيظهر صلب التسليح على هيئة شرائح فاتحة اللون وتظهر الخرسانة سيئة الدمك على هيئة مساحات داكنة ، وهذه الطريقة مكلفة جدا ، ولا بد أن تصحبها احتياطات أمن مشددة حتى لا يتعرض العاملون للإشعاع الضار ، والأنسب أن تستخدم لعمل مسح لمساحات صغيرة من الخرسانة وخاصة فى الحالات الحرجة التى لا يوجد بديل لها مثل فحص قلب الأعضاء الخرسانية السميكة فى الحالات الشديدة التدهور ، ومن الأنسب كذلك أن يقوم بتحليل نتائج هذا الاختبار خبراء متخصصون فى مثل هذا الاختبار .

ب - الاختبار الرادارى للخرسانة (٢١) :

وفيه يتم إرسال نبضة كهرومغناطيسية عن طريق هوائى عالى الذبذبة (٥٠٠ - ١٠٠٠ ميغا هرتز) من سطح العضو الخرسانى ، حيث تغلغل هذه النبضة مادة العضو وتنعكس على سطح يكون عنده تغير فى الخواص الكهربائية أو فى معامل العزل الكهربى ، فمعامل العزل للهواء مثلا هو الوحدة بينما معامل عزل الخرسانة حوالى سبعة ، وبوجه عام يتم الربط بين قوة الإشارة المنعكسة وبين التغير فى خواص العزل الكهربى ، فكلما زادت قوة الإشارة المنعكسة كان ذلك دليلا على تغير أكبر فى خواص العزل الكهربى ، ويتم التقاط الإشارات المنعكسة من على السطح ثانية بواسطة هوائى مستقبل ، ويتم رسم شكل لما تحت السطح بواسطة تحريك هوائى الإرسال / الاستقبال على سطح العضو واستقبال

عديد من النبضات تتراوح قوة وضعفًا .

ويمكن حساب عمق السطح العاكس عن طريق معرفة سرعة النبضة والوقت الذى استغرقته فى العودة ، ولكن نظراً للتعقيد فى شكل النتائج فيستحسن استخدام هذه الطريقة مع طرق أخرى من الاختبارات غير المتلفة للوصول إلى نتائج دقيقة حول حالة العضو الخرسانى ، وتمتاز هذه الطريقة عن الاختبار بأشعة إكس وجاما بانخفاض تكلفتها ، وقلة خطورتها ، وإمكانها القياس حتى عمق ١ م من السطح .

جـ - الكشف على التسليح - (شكل ٣ / ٢٧) - :

ويستعمل فيه جهاز له رأس باحثة تزود بالكهرباء ، ويهتز المؤشر الموجود بالجهاز عندما تقترب الرأس من سطح تسليح ويعطى قراءة مما يمكن الباحث من تحديد أماكن الأسياخ ويمكن كذلك تحديد قطرها .

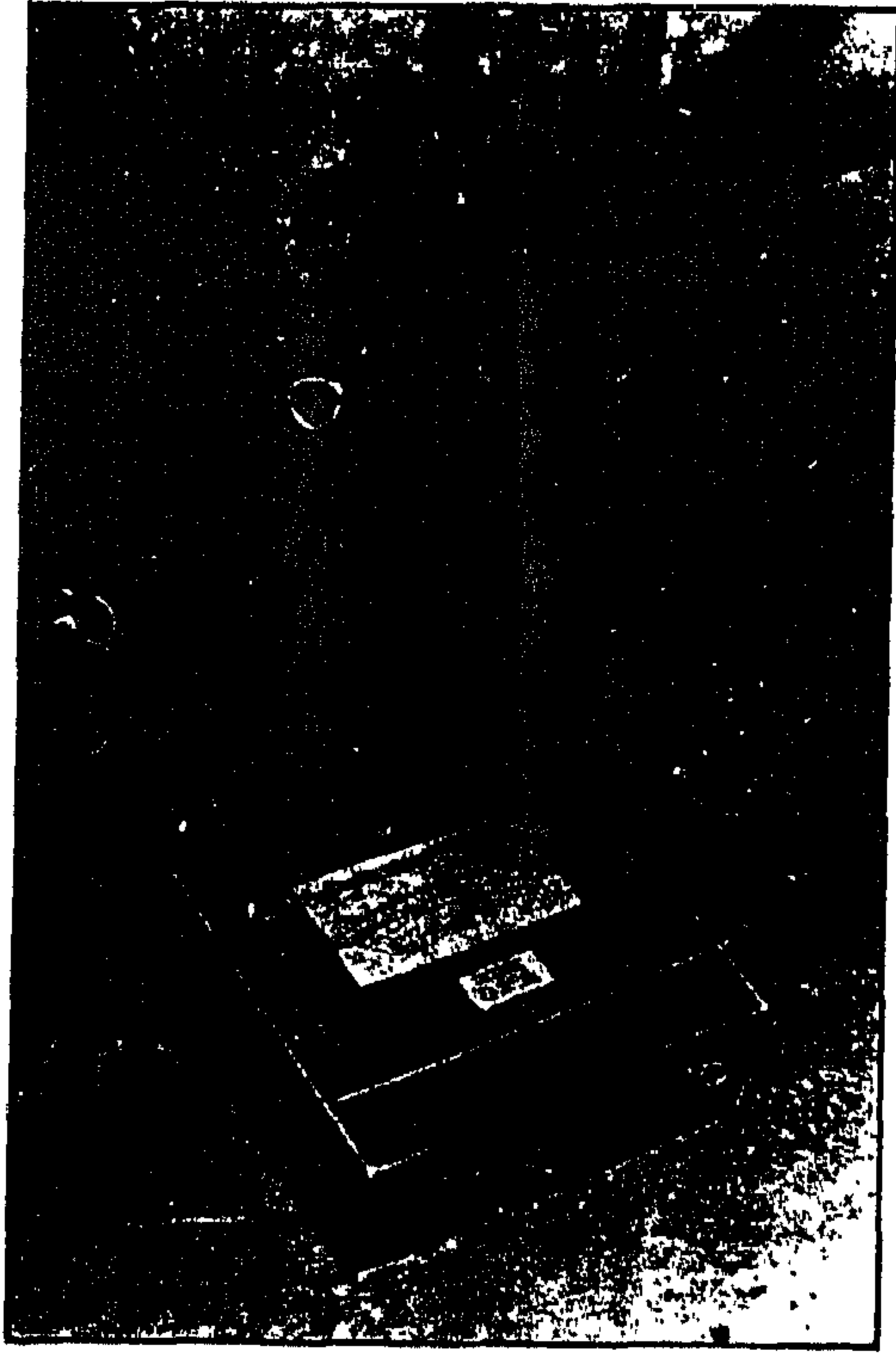
خ ١٠ : مقياس الغطاء الخرسانى ^(١٣) Electromagnetic covermeter :

الغرض من الاختبار :

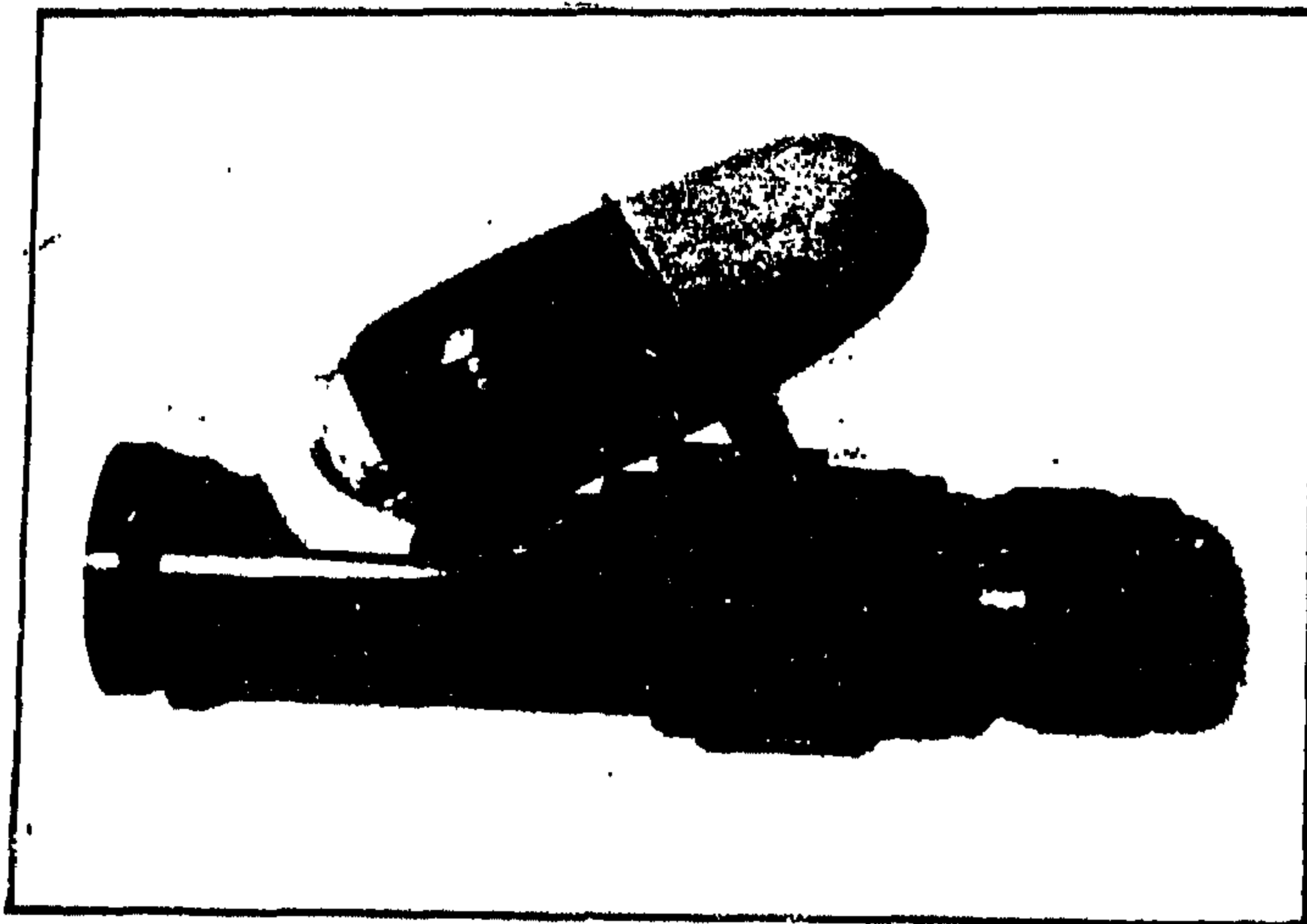
تحديد عمق الغطاء الخرسانى ، والكشف على وجود حديد التسليح .

طريقة إجراء الاختبار :

هو أداة بسيطة - شكل (٣ / ٢٧) - حيث يتم تزويد الرأس الباحثة لهذه الأداة بالكهرباء عن طريق بطارية ٩ فولت ، والقلب الداخلى عبارة عن مادة معدنية على شكل حرف U فى علبة ١٠ × ٥ × ٢,٥ سم ، لها ملفان منفصلان ملفوفان حول ذراعيها ، أحدهما يغذى بتيار متردد ، بينما يتصل الآخر بمقياس الكشف عن التيار الكهربى (Galvanometer) الذى يقيس فرق الجهد المتكون عندما يكمل جسم معدنى « الدائرة » ، هذا الجسم المعدنى هو أسياخ التسليح المدفونة فى الخرسانة ، واستعمال هذه الأداة بسيط جداً ، ولكن يجب على من يستعملها أن يدرك بعض الأشياء التى تؤثر على القراءات مثل الأربطة المعدنية ووصلات الحديد ووجود أجسام معدنية فى الخرسانة نفسها مثل المسامير ، كما أن الأسياخ من الصلب العالى المقاومة ذات الأقطار الصغيرة تعطى نتائج عن الغطاء الخرسانى أكبر من الحقيقة ، وتتأثر القراءة كذلك بوجود عدة طبقات من صلب التسليح وبالمسافة بين الأسياخ .



شكل ٢٧ / ٣ جهاز الكشف عن مكان التسليح (١٩)



شكل ٢٨ / ٣ جهاز قياس سعة الشروخ

وهذا الجهاز البسيط جزء أساسي من الاختبارات غير المتلفة ، ويصل عمق الفحص إلى ١٠ سم من السطح ، وقد أنتجت مقاييس حديثة تكشف عن صلب تسليح على أعماق أكبر (٦٠ سم) ، ولها القدرة على تحديد قطر السيخ - وإن كان تحديداً غير دقيق - ويجب إعطاء عناية خاصة عند إجراء الاختبار على خرسانة من الركام الخفيف (light - weight) أو من ركام كسر الحجارة .

اختبار أشعة جاما (١٣) Gamma Radiography :

الغرض من الاختبار :

تحديد مكان وعدد أسياخ صلب التسليح .

طريقة إجراء الاختبار :

سبق شرح الطريقة في الجزء الخاص باختبارات الأشعة ، وفي هذا الاختبار تظهر صورة أسياخ صلب التسليح على شكل شرائح فاتحة اللون مما يمكن معه تحديد مكانها بالنسبة للمسقط الأفقي أو الرأسى للعضو الخرساني وكذلك عددها ، ويمكن تقدير قطر الأسياخ بطريقة تقريبية كذلك .

كما يمكن استخدام الاختبار بأشعة جاما في تحديد جودة أسياخ الصلب قبل استعمالها وخلوها من الشوائب والعيوب الداخلية مثل الشروخ الداخلية والطبقات الداخلية الفاصلة (Lamination) والنفاذية .

ويمكن كذلك استخدامها في اختبار اللحامات ، وهي أكثر استخداماً مع أشعة إكس في اختبارات المنشآت المعدنية .

وهذا الاختبار - كما سبق شرحه - مكلف جداً ، ولا يستعمل إلا في حالات خاصة عندما لا يمكن تحديد مكان وأعداد أسياخ التسليح عن طرق الكشف عليها أو عن طريق مقياس الغطاء الخرساني .

قياس اتساع الشروخ :

خ ١١ : المنظار المكبر Crack comparator :

ويمكن قياس سعة الشروخ حتى دقة ٠.٢٥ مم (١ / ٤٠ مم) باستخدام المنظار المكبر - شكل (٢٨ / ٣) - وهو ميكروسكوب صغير يحمل باليد مزود بمقياس على العدسة

القريبة من السطح الذى يتم فحصه ، ويقاس اتساع الشرخ فى أماكن متعددة بحيث يمكن رسم شكل الشرخ على رسم بسيط (Sketch) للعضو الخرساني وتحديد اتساعه فى النقاط المختلفة .

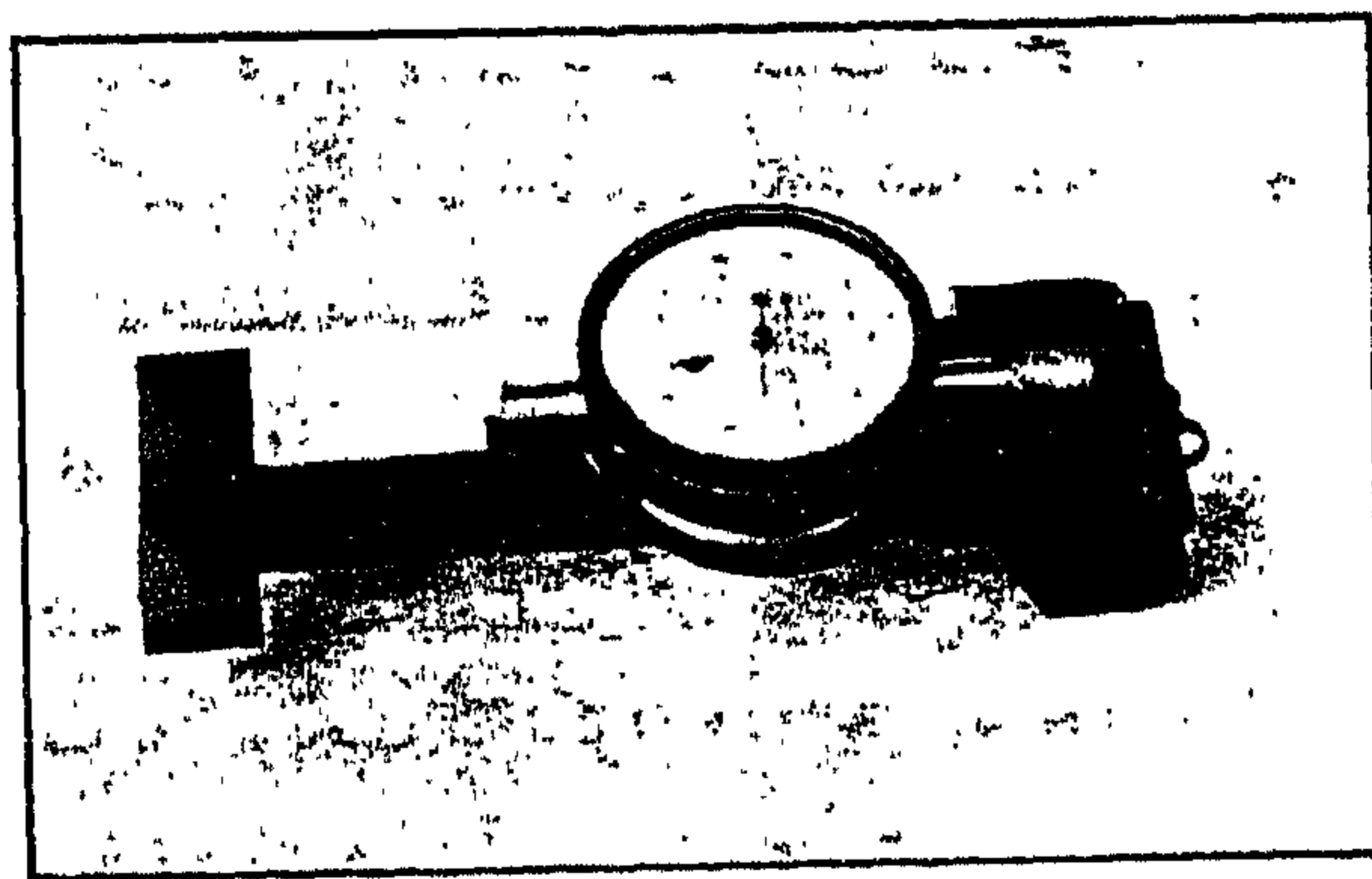
خ ١٢ : أجهزة قياس الانفعال والحركة :

١ - أجهزة قياس الانفعال الميكانيكية Demec gauges :

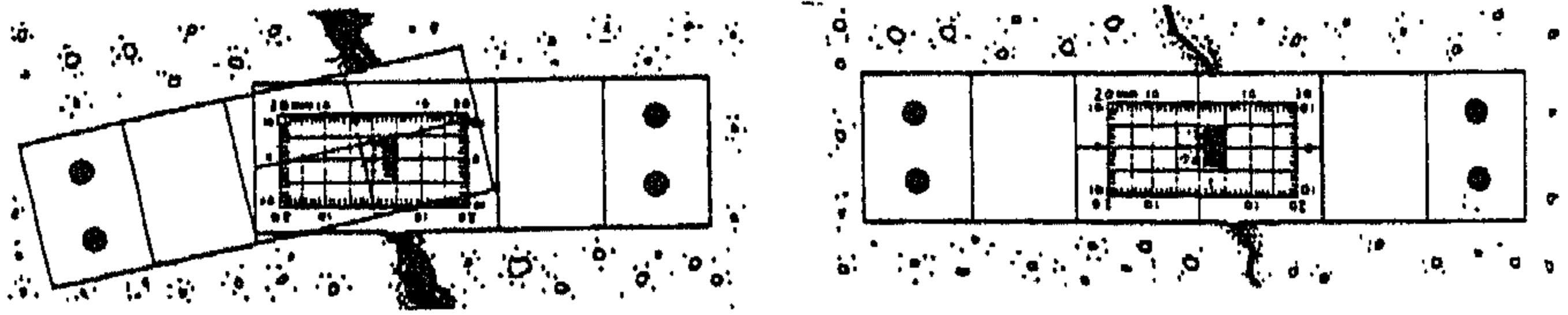
ويمكن قياس الزيادة فى اتساع الشرخ عن طريق هذه الأجهزة ، ولكن الأمر يتطلب لصق أقراص النحاس ذات الثقب على جانبي الشرخ ، وذلك لأن هذه الأجهزة تقوم بقياس المسافة بين قرصى نحاس بهما ثقب يدخل فيه الرأس المدبب لذراع الجهاز - شكل (٣ / ٢٩) - والفارق بين القراءة السابقة والحالية تعطى الزيادة فى اتساع الشرخ ، واستخدام هذا الجهاز يتطلب أن يكون المستخدم متدربا على استخدامه ، وأن يكون الجهاز موازيا للسطح بدون ميل ، والمسافة بين نهايتى الذراعين - الطول الذى يقاس الانفعال عليه - يتراوح بين ١٠ سم إلى ٢٥ سم ، ولقياس اتساع شرخ بهذا الجهاز يتطلب الأمر ألا توجد شروخ أخرى فى مسافة الجهاز ، وإلا كانت نتيجة القراءة عبارة عن اتساع أكثر من شرخ مما لا يمكن معه معرفة اتساع كل على حدة .

٢ - أجهزة قياس الحركة الميكانيكية :

جهاز رصد الشروخ المبين فى شكل (٣ / ٣٠) يعطى قراءة للإزاحة والدوران التى حدثت للشرخ ، بينما تقوم بعض الأجهزة الأخرى بتكبير حركة الشرخ لدرجة تكبير تصل إلى ٥٠ مرة ، وتعطى أقصى مدى للحركة الحادثة فى الفترة التى تم فيها القياس .



شكل (٣ / ٢٩) مقياس اتساع الشروخ



شكل (٣ / ٣٠) جهاز قياس حركة الشروخ

وميزة هذه الأجهزة الميكانيكية عن أجهزة قياس الانفعال الكهربائية أنها لا تحتاج إلى حماية من الرطوبة ، كما أنها تستطيع قراءة الاتساع الكبير للشروخ - أكبر من ١ مم .
اختبارات صدأ الحديد :

خ ١٣ : قياس القابلية الكهربائية ^(٢٢) (The half cell) Electrical potential :

الغرض من الاختبار :

التحقق من أسياخ التسليح التي فقدت طبقة الحماية السلبية .

فأسياخ صلب التسليح السليمة المدفونة في الخرسانة والتي لم يصبها صدأ تكون في حالة حماية سلبية Passive protection - انظر قسم ٢ / ٢ / ٦ من الباب الرابع - أي تكون مغطاة بطبقة رقيقة جداً من أكسيد الحديد تحميها من الصدأ ، ونتيجة فقد قاعدية Alkalinity / الخرسانة المحيطة بالأسياخ - لأسباب متعددة مثل وجود الكلوريدات أو التفاعل مع ثاني أكسيد الكربون الجوي - تُفقد هذه الطبقة الحامية ، والقابلية الكهربائية للصلب المحمي بهذه الطبقة مختلفة عن قابلية الصلب غير المحمي والقابل للصدأ .

طريقة إجراء الاختبار :

ولقياس القابلية الكهربائية للصلب لا بد من عمل وصلات كهربية بصلب التسليح وبالخرسانة المحيطة به ، ويجب ألا تكون هذه الخرسانة جافة تماماً ، ويتم عمل الوصلة الكهربائية مع صلب التسليح ببساطة بالكشف على جزء من السطح وتوصيل السلك به ، أما الوصلة الكهربائية الخاصة بالخرسانة فلا بد من عملها عن طريقة الكتروليت - المنحل

بالكهرباء - Electrolyte ، يعمل على بلل سطح الخرسانة وبلل الموصل Conductor فى نفس الوقت ، هذا الموصل يكون معصلاً بالسلك الثانى - شكل (٣ / ٣١) - ويتم تجميع الالكتروليت والموصل معا فى مسبر probe واحد ، بحيث يوضع ملتصقا بسطح الخرسانة ، هذا المسبر هو ما يعرف بنصف الخلية half cell ، حيث النصف الآخر للخلية هو صلب التسليح والخرسانة ، ونصفا الخلية معا يكونان خلية كهربية كاملة تنتج قابلية كهربية يمكن قياسها عن طريق جهاز لقياس الفولت High impedance millivoltmeter - ذى ممانعة عالية لا تقل عن ١٠ ميجا أوم .

وتعتبر نصف الخلية المخنوية على نحاس ومحلول مشبع بكبريتات النحاس هى أكثر الأنواع انتشاراً فى اختبارات الخرسانة ، ولكن يمكن استخدام مواد أخرى كالفضة وكلوريد الفضة مثلاً ، وكل نصف خلية تولد القابلية الكهربية الخاصة بها والمختلفة عن أى نصف خلية أخرى حسب نوع المواد المستخدمة ، والقابلية الكهربية لصلب التسليح بالنسبة لماء المسام الداخلى فى الخرسانة بالإضافة إلى القابلية الكهربية لنصف الخلية تكون القابلية الكهربية الكلية التى يجرى قياسها بجهاز قياس الفولت الدقيق ، وعند تسجيل قراءة القابلية الكلية لابد من الإشارة إلى مادة نصف الخلية ، فمثلاً قراءة ٤٢ فولت تسجل هكذا (٤٢ فولت - نحاس / كبريتات نحاس) .

ولعمل مسح لمساحات كبيرة يمكن تركيب عدة أنصاف خلايا على قضيب طويل - شكل (٣ / ٣٢) - وجهاز « الباحث عن المسار » هو جهاز من هذا النوع حيث يستخدم منظم المعلومات Data processor مع جهاز تسجيل لربط القابلية الكهربية المتساوية للنقاط المختلفة على سطح الخرسانة .

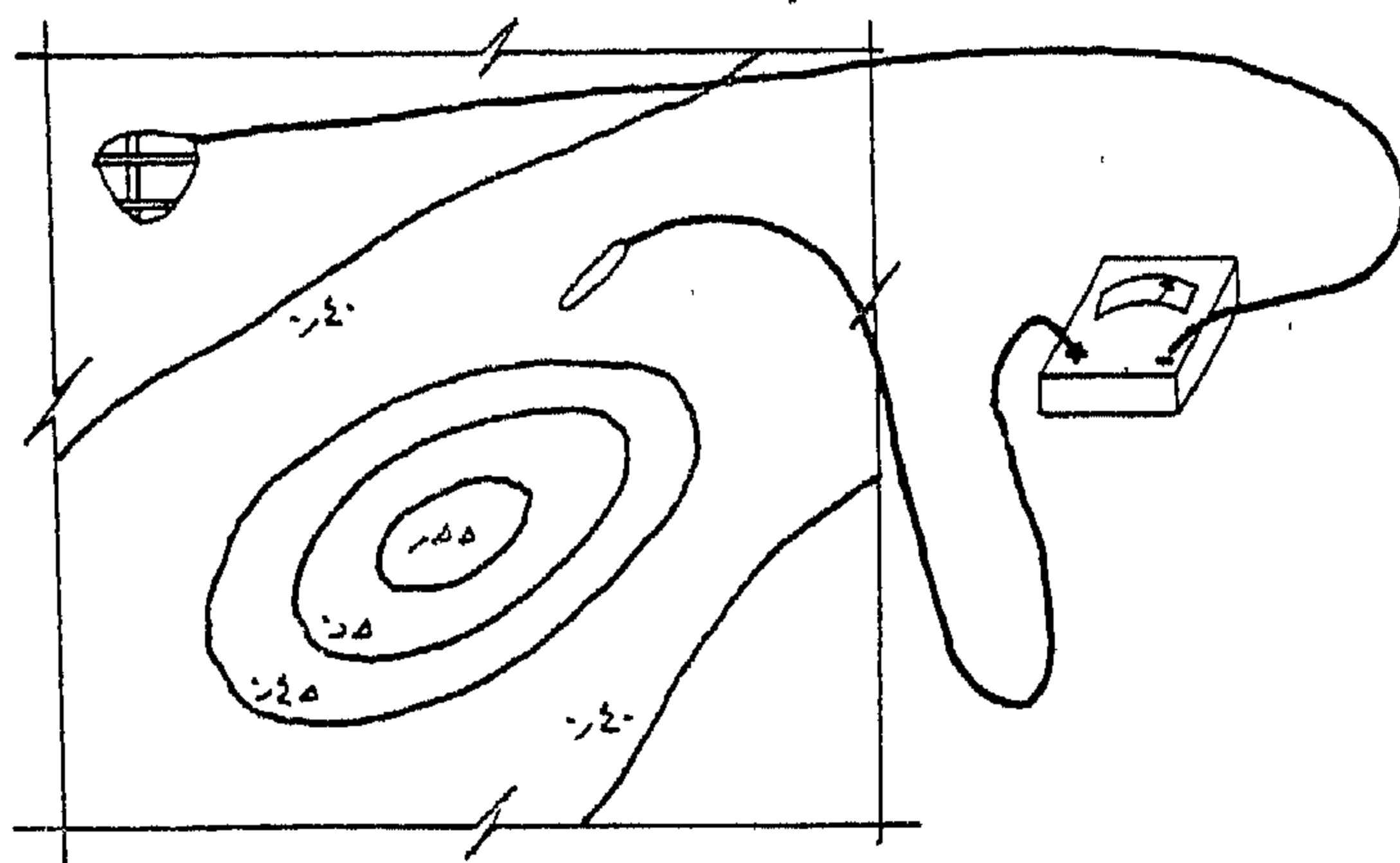
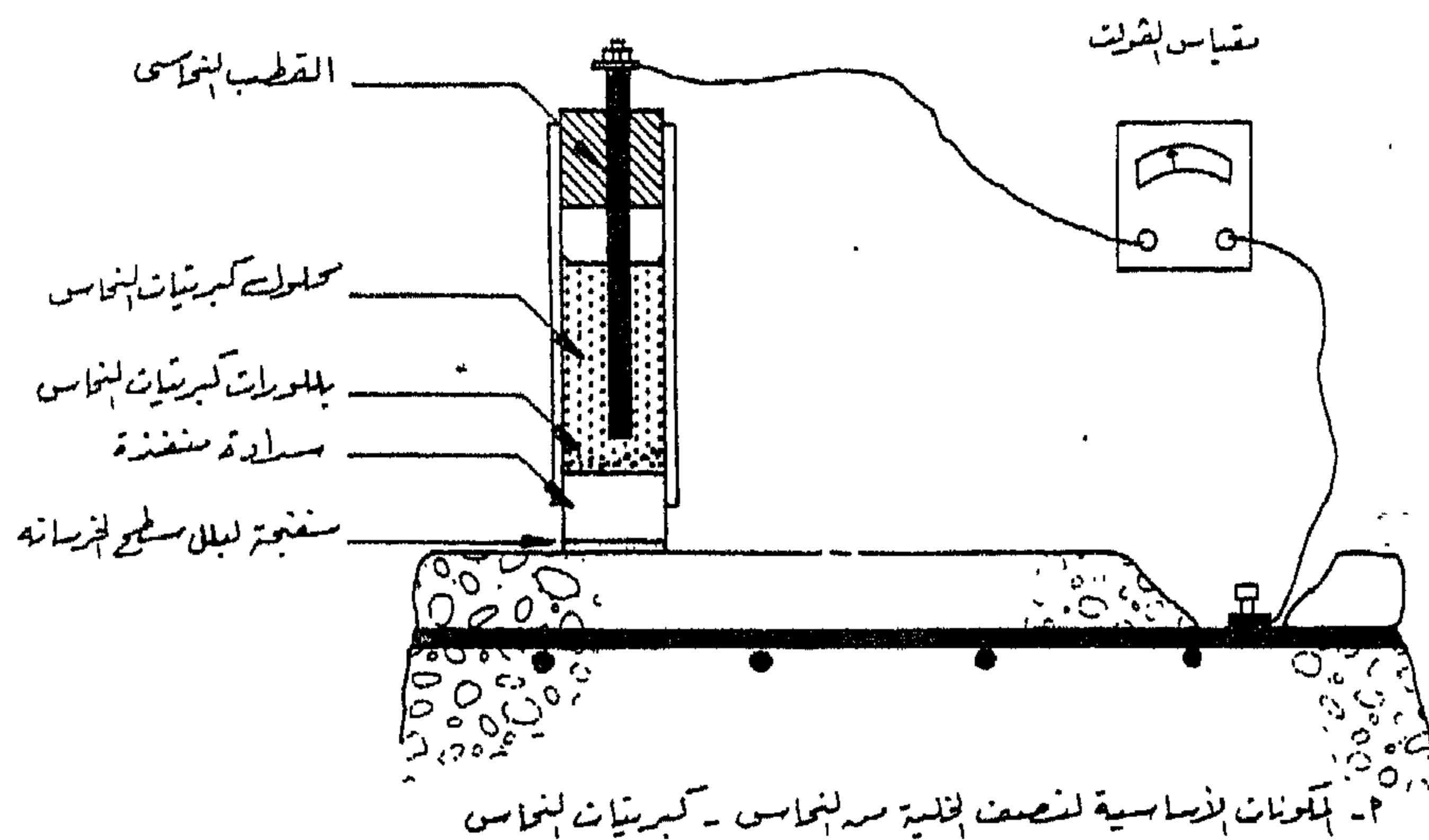
ويظن البعض أنه من الممكن اكتشاف صلب التسليح الذى بدأ يصدأ عن طريق قياس القابلية الكهربية ، ولكن الخبراء أكدوا عدم إمكانية ذلك ، وإنما يمكن مقارنة حالة صلب التسليح فى المناطق المجاورة من الخرسانة لتحديد الصلب الذى فقد الحماية السلبية ، ويجب الحذر هنا من أن الخرسانة الجافة جداً قد تكون مقاومتها الكهربية عالية لدرجة أن قياس القابلية الكهربية قد لا تبين أن الصلب فقد طبقة الحماية وفى هذه الحالة يعطى الاختبار نتائج غير دقيقة بأن هذا الجزء من الخرسانة المسلحة على ما يرام .

خ ١٤ : قياس المقاومة الكهربية (٢٢) Electrical resistivity :

الغرض من الاختبار :

التحقق من وجود أسياخ صدأه فى الخرسانة .

إن صدأ صلب التسليح هو عملية كهروميكانيكية ، تعتمد على حركة الأيونات المشحونة كهربياً خلال ماء المسام الداخلية من القطب الموجب إلى القطب السالب - انظر قسم ٢ / ٢ / ٦ من الباب الرابع - وحركة الأيونات نفسها تجعل الخرسانة موصلة للكهرباء ، وقياس توصيل - مقاومة - الخرسانة للكهرباء يمكن أن يستخدم في قياس سهولة حركة تيار الصدأ نتيجة فرق القابلية الكهربائية التي سببها الصدأ - كلما قلت مقاومة الخرسانة كلما كان ذلك دليلاً على وجود صدأ أكثر .



ب - رسم الخطوط التي تصل النقاط ذات إلكترونية متساوية

شكل (٣ / ٣) قياس القابلية الكهربائية للخرسانة وصلب التسليح



شكل (٣ / ٣٢) جهاز الباحث عن المسار المكون من عدة أنصاف خلايا (٢٢)
وجهاز نصف الخلية الواحدة

طريقة إجراء الاختبار :

مقاومة الخرسانة مرتبطة بمحتوى الرطوبة وبجودة الخرسانة وتتراوح بين ٨٠٠٠ إلى ١٢٠٠٠ أوم - سم ، ولكنها يمكن أن تقل لتصل إلى ٥٠٠٠ أو تزيد لتصل إلى ١٥٠٠٠ حسب الحالة ، ونتائج اختبار قياس المقاومة الكهربائية حساس جداً للظروف التي يجرى فيها ويتأثر بوجود أسياخ تسليح قريبة ، ولكن نتائج هذا الاختبار يمكن استخدامها مع نتائج اختبار القابلية الكهربائية في تحديد المناطق الأكثر احتمالاً أن بها صدأ والمناطق السليمة ، ولكن لا يمكن الوصول إلى نتائج دقيقة عن مدى الصدأ الحادث من نتائج هذين الاختبارين .

وتقاس مقاومة الخرسانة عادة بطريقة الأقطاب الأربعة - شكل (٣ / ٣٣) - حيث يمرر تيار كهربائي بين القطبين الخارجيين ، ثم يقاس فرق القابلية الكهربائية المتولد بين القطبين الداخليين ، حيث يعطى هذا الفرق مقياسا للمقاومة الكهربائية ، ويستحسن استخدام تيار متقطع عند قياس المقاومة الكهربائية لمنع حدوث استقطاب ، وتكون أنصاف خلايا half cells مع ماء المسام الداخلية عند الأقطاب .

خ ١٥ : جهاز الاندروبروب Endoprobe test :

الغرض من الاختبار :

تقدير درجة صدأ كابلات الشد السابق .

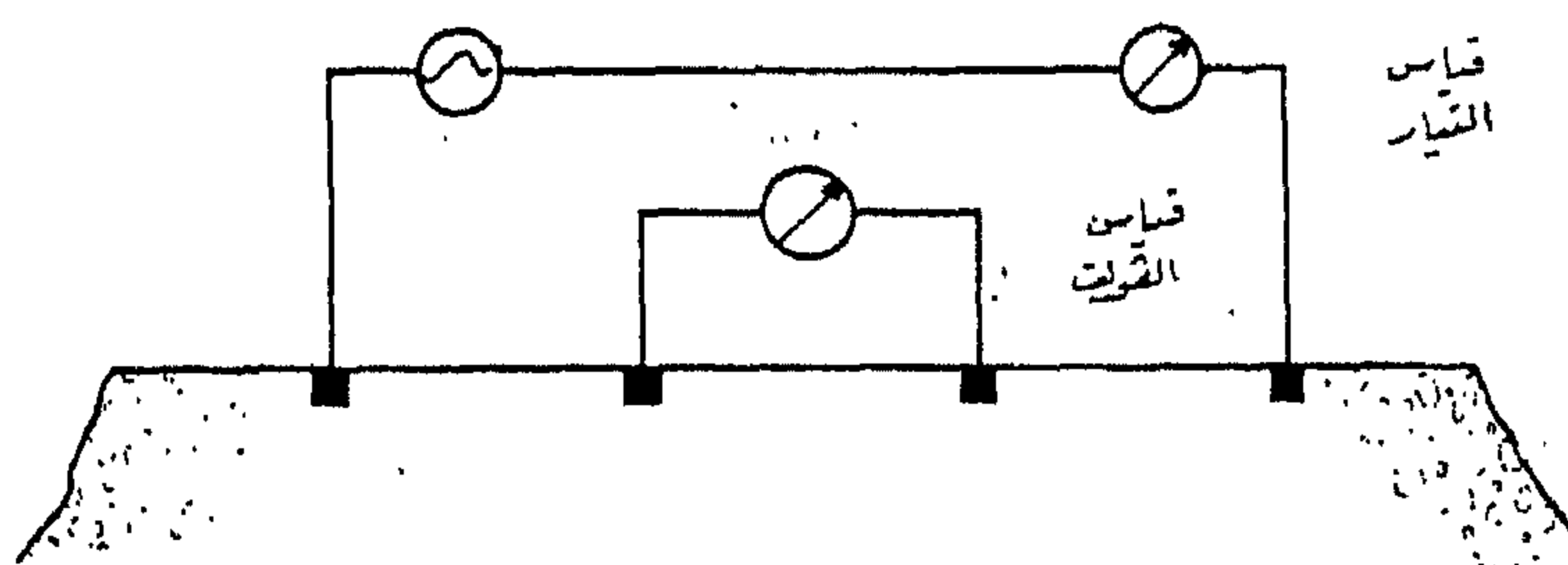
طريقة إجراء الاختبار :

يمكن فحص كابلات الشد السابق (prestressing tendons) غير المحقونة UngROUTED أو سيئة الحقن بهذا الجهاز ، حيث يتم عمل فجوة صغيرة - ١ سم مثلا - فى الخرسانة وفى مجرى الكابل ، مع العناية الشديدة بعدم إتلاف صلب الشد السابق ، ثم يتم إدخال الاندروبروب من هذه الفتحة لفحص جودة الصلب والتحقق من عدم وجود صدأ به .

خ ١٦ : عمق التحول الكربونى (٢٢) Testing for carbonation :

الغرض من الاختبار :

تحديد عمق الخرسانة السطحية التى فقدت قاعدتها .



شكل (٣ / ٣٣) قياس المقاومة الكهربائية عن طريق أربعة أقطاب مدفونة فى الخرسانة على مسافات متساوية

إن تحديد مناطق الخرسانة السطحية التي فقدت قاعدتها نتيجة التفاعل مع ثاني أكسيد الكربون (عمق التحول الكربوني) - انظر قسم ٢ / ٢ / ٦ من الباب الرابع - مفيد جدا في تحديد أين ومتى يمكن أن يحدث صدأ لأسياخ التسليح - عندما يصل التحول الكربوني إلى الأسياخ نفسها - وأبسط طريقة لقياس القاعدية هي رش سطح الخرسانة المكسورة حالا من العضو المراد اختباره بمحلول كيميائي خاص يتغير لونه طبقا لدرجة قاعدية السطح المرشوش عليه ، وعادة ما يستعمل محلول الفينول فيثالين phenolphthalein المذاب في الكحول لهذا الغرض ، هذا المحلول يصبح لونه ورديا جدا - سهل ملاحظته - عند ملامسته للخرسانة ذات القاعدية الطبيعية ($pH = 12.5 - 13.5$) ، ويصبح لونه رماديا أو أزرق إذا فقدت الخرسانة قاعدتها بحيث لا تصبح قادرة على حماية صلب التسليح ($pH < 9$) حيث يبدأ التغير في لون المحلول عند أس هيدروجيني (pH) حوالى ٨,٥ ويصبح اللون ورديا عند أس هيدروجيني = ١٠ .

ويمكن اختبار العضو الخرساني نفسه - وليس جزءا مأخوذا منه - عن طريق كسر الخرسانة السطحية ثم رشه مباشرة بالمحلول ، وفي حالة الكمرات والأعمدة يمكن استخدام مطرقة لكسر جزء من ركن الكمرة أو العמוד حتى صلب التسليح ، ثم يجرى الاختبار مباشرة بعد كسر الخرسانة ، أما البلاطات والحوائط فلا بد من استخدام آلة حادة مع المطرقة لعمل فجوة في الخرسانة ذات سطح مائل حتى صلب التسليح ، ثم يجرى عليها الاختبار .

خ ١٧ : محتوى الكلوريدات Chloride content:

الغرض من الاختبار :

قياس محتوى أملاح الكلوريدات في الخرسانة المتصلدة .

إن محتوى الكلوريدات في الخرسانة عامل حاسم عند تحديد احتمالات صدأ صلب التسليح ، حيث إن وجود كمية بسيطة من الكلوريدات يمكن أن تؤثر تأثيرا سلبيا في طبقة الأكسيد التي تحمي الأسياخ من الصدأ - انظر قسم ٢ / ٢ / ٦ من الباب الرابع .

طريقة إجراء الاختبار :

لسوء الحظ لا توجد مادة ترش على سطح الخرسانة وتبين وجود الكلوريدات كما يبين محلول الفينول فيثالين وجود التحول الكربوني ، ولكن توجد أجهزة تحليل بسيطة

لاستعمالها فى تحديد محتوى الكلوريدات فى الموقع ، وهذه الأجهزة مفيدة رغم أنها لا تعطى نفس دقة التحاليل المعملية ، ولتحديد محتوى الكلوريدات للخرسانة المتصلدة يجب الحصول على عينة منها ، إما بكسر قطع من الخرسانة أو بثقب حفرة فيها والحصول على تراب الخرسانة الناتج ، وفى حالة المنشآت البحرية التى يظهر الملح على سطحها فلا بد من إزالة الأملاح السطحية أولاً قبل أخذ العينات ، ويمكن عن طريق أخذ تراب الخرسانة من أعماق مختلفة بطريقة منفصلة ، تحديد محتوى الكلوريدات عند كل عمق من هذه الأعماق ومدى تغير محتوى الكلوريدات مع العمق ، وأخذ العينات عن طريق المثقاب وتجميع تراب الخرسانة هو وسيلة سريعة وبسيطة تتيح الحصول على عينات كثيرة ونتائج لمحتوى الكلوريدات فى نقاط متعددة وعلى أعماق مختلفة ، ويمكن تجميع تراب الخرسانة فى وعاء من البلاستيك أو المطاط - كما يظهر من شكل (٣ / ٣٤) .

وتعامل عينات الخرسانة بالأحماض لإذابة الأسمنت ، ثم يمكن تحديد محتوى الكلوريدات بالمعايرة مع نترات الفضة (Silver nitrate) (٢٣) ، وهناك أيضاً أجهزة قياس أيونات الكلوريدات وأجهزة الاختبار السريعة بالموقع مثل جهاز (Quantab & Hach) (٢٢) .

ويختلف الخبراء حول دقة الطرق المختلفة لتحديد محتوى الكلوريدات ، ولكن لأن نسبة الكلوريدات يجب ألا تتعدى ١٪ من وزن الأسمنت فالتقدير التقريبي لمحتوى الكلوريدات يمكن أن يكون كافياً للحكم على مدى تأثير الكلوريدات على صدأ الحديد .

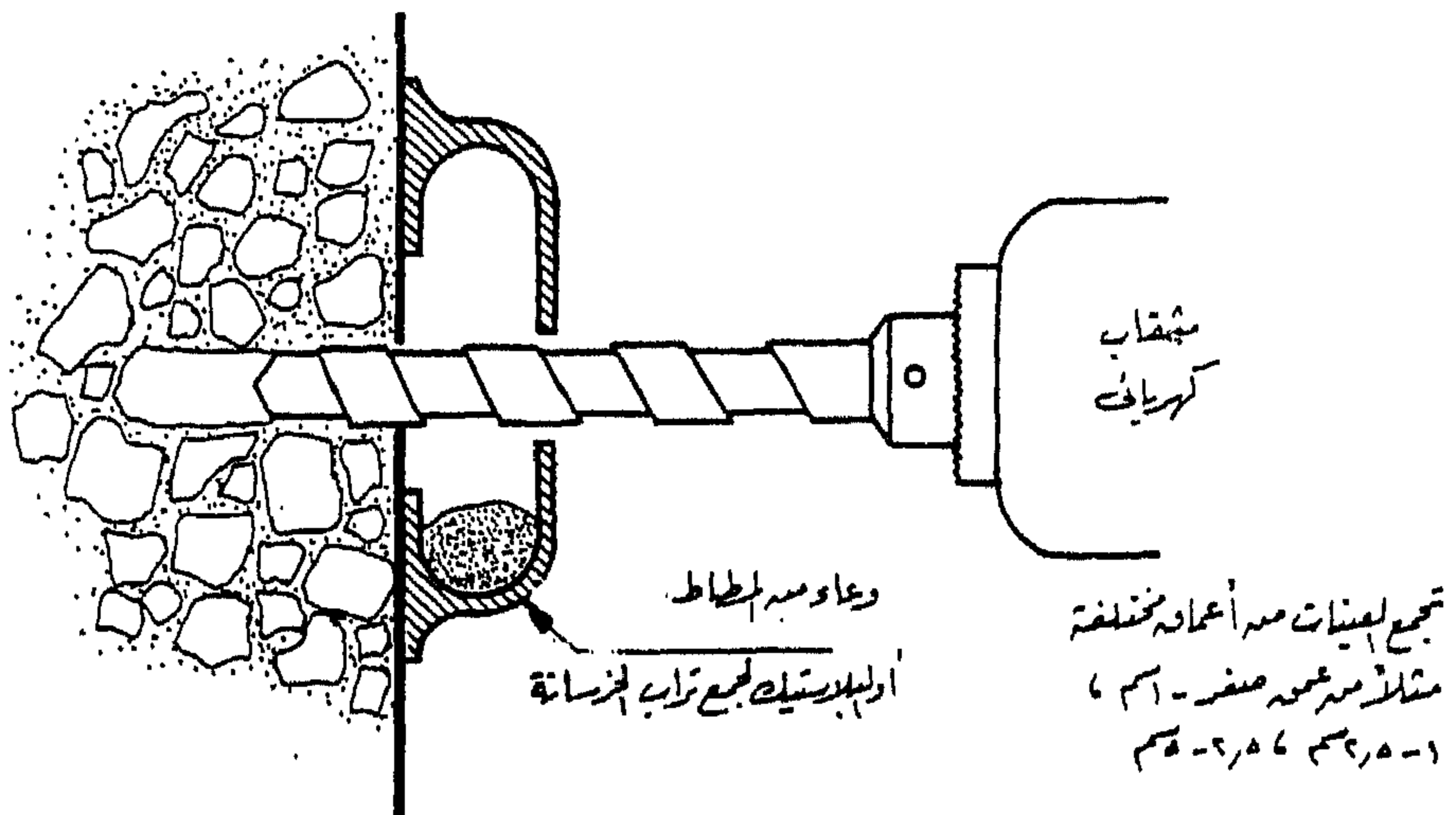
ولتحديد الكلوريدات التى تغلغل من الخارج والكلوريدات الموجودة بالخلطة الأصلية ، فمن المفيد رسم شكل تغير محتوى الكلوريدات مع العمق ، لأن فالكلوريدات الموجودة أصلاً يزيد محتواها مع العمق لمسافة بسيطة ثم يثبت ، أما الكلوريدات المتغلغلة من الخارج فيزيد محتواها مع العمق ثم يقل بسرعة بعد ذلك - كما هو مبين فى شكل (٣ / ٣٥) - ويرسم هذا الشكل يمكن الحكم على مصير الكلوريدات .

اختبارات الامتصاص :

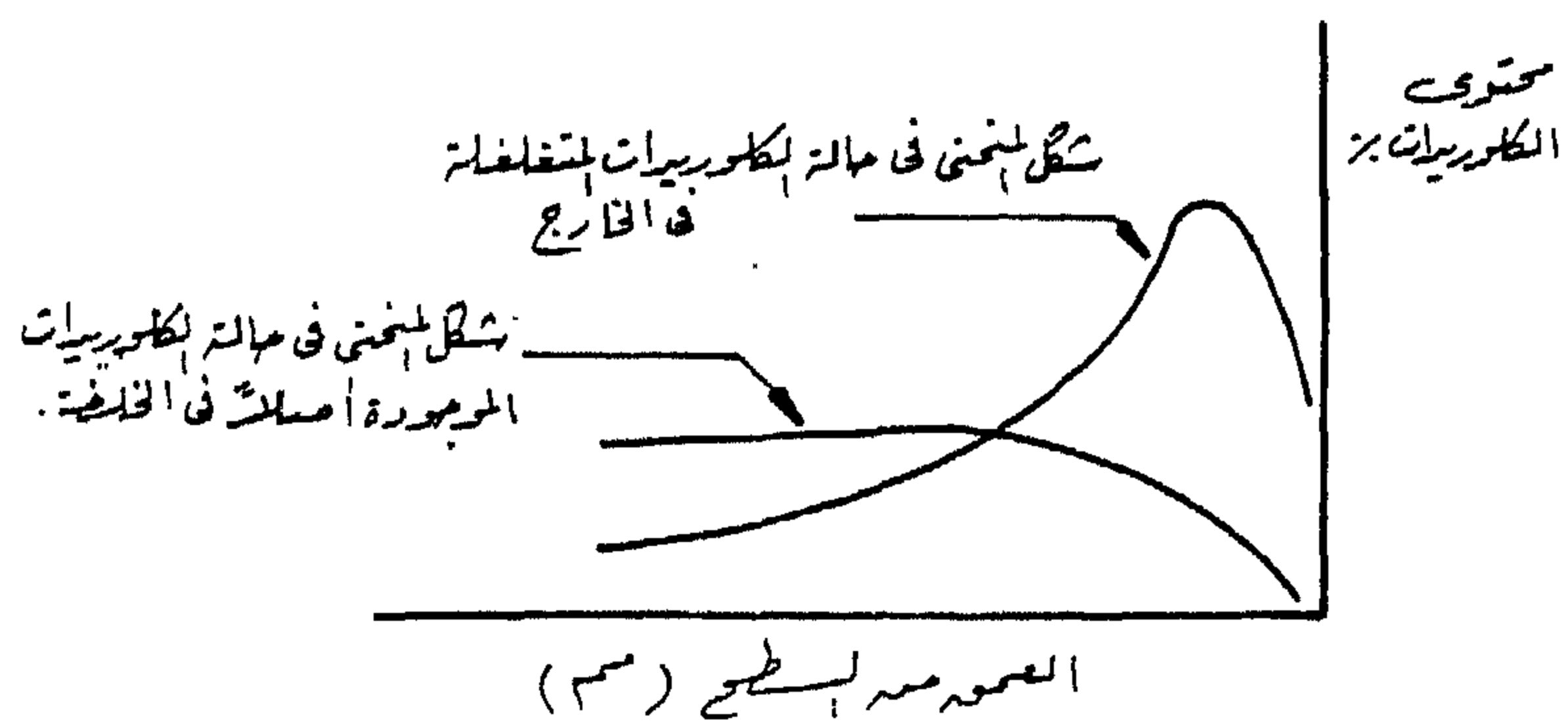
خ ١٨ : الامتصاص السطحي (ISAT) Initial surface absorption test :

الغرض من الاختبار :

تحديد مدى سهولة تغلغل السوائل الضارة داخل الخرسانة .



شكل (٣ / ٣٤) طريقة تجميع عينات من الخرسانة بالثقب



شكل (٣ / ٣٥) الفرق بين منحنى الكلوريدات المتغلغلة من الخارج والموجودة أصلاً

طريقة إجراء الاختبار :

يعرض سطح الخرسانة لماء تحت ضغط قياسي - ارتفاع عامود الماء = ٢٠ سم - وهذا يمثل معامل أمان أكبر من ٢ بالنسبة للضغط الأقصى في حالة الأمطار المصاحبة برياح - ولكن يتم تصريف الماء من على سطح الخرسانة أولاً بأول - ثم يتم قياس النفاذية السطحية عن طريق قياس حركة الماء في أنبوبة شعيرية أفقية بالمليمتر / م ٢ / ث ، وبالنسبة للخرسانة المسلحة فالمفروض أن تكون قيمة الامتصاص السطحي (ISA) حوالي ٥ , ملليمتر / م ٢ / ث بعد ١٠ دقائق تقل إلى ٢ , بعد ساعة .

ولابد من العناية الشديدة عند أخذ قراءات هذا الاختبار ، وقد أظهرت الاختبارات العملية توافقاً بين نتائج اختبار الامتصاص السطحي وكلاً من اختبار نسبة الركام / الأسمنت واختبارات التحمل ضد دورات التجمد والذوبان ، وتتأثر نتيجة الاختبار بكمية الرطوبة في الخرسانة أثناء الاختبار ، ولذا فلا بد عند عمل الاختبار بالواقع أن تكون الخرسانة المختبرة قد مر عليها يومان على الأقل بدون بلل ، ويصبح من الصعب الحصول على نتائج ذات معنى بالنسبة للأسطح الخارجية للخرسانة في البلاد المطيرة لعدم وجود محتوى رطوبة ثابت أو قياسي بها ، ولكن امتصاص الأسطح الداخلية يعطى نتائج أكثر ثباتاً ، كما تتأثر نتائج الاختبار بحالة السطح المختبر ، والاستخدام الأكثر مناسبة لهذا الاختبار هو في المقارنة بين خرسانات المنشأ الواحد في أماكن مختلفة .

خ ١٩ : النفاذية والامتصاص Permeability & Absorption :

الغرض من الاختبار :

قياس سهولة نفاذ الهواء والسوائل إلى قلب الخرسانة .

طريقة إجراء الاختبار :

اختبار النفاذية المقترح من هيئة بحوث البناء البريطانية (BRE) يتم عن طريق ثقب حفر صغيرة (٥,٥ مم) في الخرسانة بعمق ٣ سم ، ثم سد الثقب حتى عمق ٢ سم ، مع وجود ممر هوائي ضيق خلال السدادة ، ولقياس نفاذية الهواء في الخرسانة يخفف الضغط إلى ١,٥ طن / م ٢ ويقاس الوقت اللازم لرفع الضغط إلى ٢ طن / م ٢ ، ويعتبر هذا مقياساً لنفاذية الهواء .

أما اختبار نفاذية السوائل فيتم عن طريق قياس الزمن - بالثواني - اللازم لكي يقطع

السائل (Meniscus) مسافة ٥ سم فى أنبوبة شعرية أفقية ، وذلك تحت ضغط عامود من الماء ارتفاعه ١٠ سم .

أما اختبار الامتصاص فيمكن أن يجرى على عينات القلب الخرساني الصغير - قطر ٧,٥ سم - أو على شرائح تقطع من هذه العينات ، وقد أعطت المواصفات البريطانية (BS ١٨٨١) حدود الامتصاص المسموح بها للخرسانة فى الأعمار المختلفة (٢٤) .

وقد أثبتت التجارب التى أجريت فى هيئة بحوث البناء البريطانية ، وجود علاقة بين نتائج نفاذية السوائل فى الخرسانة وكل من مقاومتها للضغط ونسبة الماء / الأسمنت لها .

٤ / ٢ / ٢ - الاختبارات المتلفة :

خ ٢٠ : اختبار القلب الخرساني Core test :

الغرض من الاختبار :

١ - تحديد مقاومة الخرسانة للضغط بدقة .

٢ - قياس كثافة الخرسانة density ، وقياس خواص الانكماش والامتصاص لها .

٣ - معرفة توزيع المواد داخل الخرسانة .

٤ - الحكم على جودة الخرسانة الداخلية - الفجوات الداخلية - التعشيش .. إلخ .

٥ - قياس الغطاء الخرساني بدقة ، ومعرفة نوع وقطر أسياخ التسليح المستخدمة - إذا كان القلب المقطوع يمر بأسياخ التسليح .

ويعتبر هذا الاختبار هو الوسيلة الوحيدة التى يمكن أن تعطى نتائج دقيقة لمقاومة المنشآت الخرسانية للضغط - بشرط اتخاذ جميع الاحتياطات اللازمة من جودة لماكينه الاختبار وكفاءة القائم بالاختبار وإعمال إعداد عينة الاختبار - لأنها تجرى على اسطوانات خرسانية تؤخذ من داخل العضو ، إلا أن المشاكل التى تعوق التوسع فى استخدام هذه الطريقة فى الحكم على خرسانة المنشأ تشمل :

أ - صعوبة استخراج هذه القلوب من الأعضاء الخرسانية معقدة الأشكال أو التى تقع على ارتفاعات كبيرة أو يمكن الوصول إليها .

ب - خطورة استخراج عدد كبير منها على سلامة المنشأ - قد يحتاج الأمر إلى

تدعيم المنشأ .

جـ - صعوبة الحصول على عينات خالية من صلب التسليح فى حالة الأعضاء الخرسانية كثيفة التسليح . (١٩)

د - التكلفة العالية لهذه الاختبارات بالمقارنة مع الاختبارات غير المتلفة . (١٩)

طريقة إجراء الاختبار :

يتم قطع اسطوانة بقطر ١٠ سم أو ١٥ سم - المقاسات النمطية - من العضو الخرساني عن طريق أجهزة ثقب - كالمبينة فى شكل (٣ / ٣٦) - والمزودة برأس قاطعة من الالماس ، وتعمل بالضغط الهيدروليكي أو بالضغط اليدوي ، ويكون القطع بعمق ١٥ سم على الأقل ، ثم يتم عمل تغطية لسطح القلب الخرساني بالكبريت أو بمونة الكبريت حتى يصير مستويا وعموديا على محورها ، ويجب ألا يكون سمك طبقة التسوية كبيرا ، ثم يختبر القلب الخرساني فى ماكينة الضغط مثل اختبار الاسطوانات والمكعبات التى تؤخذ من الخرسانة الطازجة .

وفى الحالات التى يصعب فيها أخذ عينات القلب الخرساني بالمقاسات النمطية - مثل الكمرات الصغيرة مثلا - فيمكن أخذ عينات بمقاسات أصغر من ١٠ سم ، ولكن النتائج التى يتم الحصول عليها من اختبار هذه العينات لابد أن يجرى تصحيحها بمعرفة خبير ؛ لأن علاقة مقاومة القلب الخرساني فى هذه الحالة بمقاومة المكعب القياسى ستختلف عن العلاقة المعروفة للقلب النمطى .

عوامل تؤثر فى اختبار القلب الخرساني :

١ - العلاقة بين قطر القلب والمقاس الاعتبارى الأكبر للركام :

تتأثر مقاومة الضغط كثيراً بنسبة البعد الأصغر - القطر - إلى المقاس الاعتبارى الأكبر للركام إذا قلت هذه النسبة عن اثنين ، ويقل هذا التأثير كلما زادت عن اثنين ، ويكاد ينعدم عندما تقترب من ثلاثة ، ولهذا تؤكد المواصفات البريطانية (٢٤) والأمريكية على ألا تقل النسبة بين قطر القلب والمقاس الاعتبارى الأكبر للركام عن ثلاثة ، ولذا كان المقاس النمطى للقلب الخرساني لا يقل عن ١٠ سم لأن المقاس الاعتبارى الأكبر للزلط يكون بين ٢ - ٤ سم .

٢ - أثر اختلاف قطر القلب على مقاومة الضغط :

فى حالة ثبات ارتفاع العينة / قطرها عند الواحد الصحيح ، فإن مقاومة القلب الخرسانى بقطر ١٠ سم لا تزيد عن مقاومة القلب بقطر ١٥ سم إلا فى حدود ١٠ ٪ ، أما الأقطار أقل من ١٠ سم فتزيد مقاومتها للضغط عن مقاومة القلب القياسى ويلزم تصحيح النتائج .

٣ - أثر اختلاف نسبة الارتفاع / القطر : (١٩)

تتأثر مقاومة الضغط للخرسانة بتغير هذه النسبة بشكل واضح عند ثبات القطر ، وسبب ذلك التأثير يرجع إلى إعاقة التمدد العرضى للعينة عند فكى ماكينة الاختبار ، وتكون المقاومة فى المنطقة القريبة من فكى الماكينة أكبر نسبيا من المقاومة فى المنطقة التى تتمدد فيها العينة عرضياً دون إعاقة ، ولذا فكلما انخفضت نسبة الارتفاع / القطر كلما زادت المقاومة .

وإذا كانت هذه النسبة ثلاثة أو أكثر كان من الممكن للعينة أن تتمدد عرضياً دون إعاقة ، وبالتالي تكون مقاومة الضغط لها ممثلة للواقع ، ولكن هذه النسبة تكون عادة اثنين فقط - زيادة المقاومة فى هذه الحالة لا تتعدى ٥ ٪ - أما إذا قلت النسبة عن اثنين فيجب تصحيح النتائج كالتالى :

النسبة	٥ ,	٧٥ ,	١٠٠ ,	١٠٥ ,
زيادة مقاومة العينة بالنسبة للعينة ذات النسبة اثنين .	١,٤ - ٣,٦	١,٣ - ١,٥	١,٠٦ - ١,٤	١,١ - ١,١١

وتنصح المواصفات الأمريكية (٢٥) أن تكون النسبة بين الارتفاع / القطر = ٢ ، بينما تقبل المواصفات البريطانية (٢٤) النسب بين ١ - ٢ وتقتصر المواصفات الألمانية (٢٦) أن تكون هذه النسبة = ١ ؛ لأن مقاومة الاسطوانات ذات النسبة واحد تساوى تقريباً مقاومة المكعب القياسى ١٥ × ١٥ × ١٥ سم ، وتمنع المواصفات كلها أن تقل هذه النسبة عن الواحد .

وقد يكون من المفيد من الناحية العملية أن تكون النسبة = ١ ، حتى تسهل مقارنة نتائج القلب الخرسانى بالمكعب القياسى دون حاجة إلى تحويل القيم .



شكل (٣ / ٣٦) جهاز استخراج القلب الخرساني

٤ - أثر وجود أسياخ تسليح فى العينة :

أ - وجود أسياخ ذات نتوءات ارتباطها جيد بالخرسانة يؤدي إلى إعاقة التمدد العرضي فتزيد مقاومة الضغط للعينة وخاصة إذا كان اتجاه التسليح عموديا على محور ماكينة الاختبار .

ب - نظراً لكبر معامل المرونة للصلب بالنسبة للخرسانة ، فإن ذلك يؤدي مع زيادة حمل اختبار الضغط إلى تشققات على طول أسياخ التسليح تؤدي إلى خفض المقاومة وخاصة فى الخرسانات الضعيفة .

ومن أجل خفض الآثار المترتبة على وجود أسياخ فى العينة نصت المواصفات الألمانية على أنه لا يجوز استعمال القلوب فى الحالات الآتية :

١ - عندما تزيد نسبة حجم التسليح / حجم العينة عن ٥ ٪ .

٢ - عندما تزيد نسبة حجم التسليح فى الثلث الأوسط من ارتفاع العينة / حجم العينة عن ١ ٪ .

٣ - عندما تكون أسياخ التسليح فى نفس اتجاه الضغط .

بينما أعطت المواصفات البريطانية علاقة لتخفيض مقاومة القلوب التي بها أسياخ تسليح ، هذه العلاقة ترتبط بمقاس القلب الخرساني وأقطار أسياخ التسليح وأصغر مسافة بين التسليح وحافة العينة ، أما المواصفات الأمريكية فقد أشارت إلى تجنب استخدام القلوب التي تحتوي على تسليح قدر المستطاع ، وهذا ممكن في البلاطات والكمرات - يؤخذ من جانب الكمر - والأعمدة والحوائط ذات التسليح الخفيف ، أما ما عدا ذلك فيصعب تجنب أسياخ التسليح عند أخذ القلب الخرساني .

٥ - أثر تجهيز العينة :

عدم استواء السطح قد يخفض المقاومة إلى الثلث ، واستخدام مونة لتسوية السطح يؤدي إلى خفض مقاومة الضغط في حالة الخرسانة عالية المقاومة إذا كان سمك المونة كبيرا ، ولذا ينصح بتسوية سطح الخرسانات عالية المقاومة بآلة تسوية مناسبة حتى تصبح أفقية تماما ، أما الخرسانات الأضعف فيمكن تسوية سطحها بالمونة الأسمنتية أو الكبريتية .

٦ - أثر رطوبة القلب :

القلوب الرطبة تعطى مقاومة أقل من القلوب الجافة وخاصة في حالة الخرسانة التي نسبة الماء / الأسمنت فيها عالية ، وتوصي المواصفات الأمريكية والبريطانية بحفظ العينات تحت الماء حوالي ٤٨ ساعة قبل الاختبار ، بينما تفضل المواصفات الألمانية اختبار العينات بعد تركها في الهواء تتساوى الرطوبة بها مع رطوبة الهواء .

٧ - أثر المكان الذي يؤخذ منه القلب :

حيث إن مقاومة الخرسانة تتأثر بعدد من العوامل مثل اختلاف الدمك ودرجة الحرارة والرطوبة ونزف الماء وسمك العضو الخرساني .. إلخ ، فإن المكان الذي يؤخذ منه القلب الخرساني سيكون له تأثير على النتائج - قواعد مدفونة أم خرسانة معرضة للشمس ، أعضاء سميكة أم أعضاء رقيقة - كما أن المقاومة تختلف باختلاف الارتفاع الذي يؤخذ منه القلب في كمر أو عامود - لاختلاف الدمك والرطوبة ونزف الماء مع الارتفاع .

٨ - أثر التحول الكربوني على المقاومة :

التحول الكربوني هو تحول هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ ذي المقاومة المتخفضة إلى كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ ذات المقاومة العالية في وجود الرطوبة وثاني أكسيد الكربون - انظر قسم ٢ - ٢ - ٦ من الباب الرابع - وكلما كان سمك الطبقة

السطحية التى حدث لها تحول كربونى عميقا كلما أدى ذلك إلى زيادة مقاومة القلب الخرسانى للضغط ، ولذا فقد تعطى النتائج فى هذه الحالة صورة غير صحيحة عن مقاومة الخرسانة إذا لم يؤخذ أثر التحول الكربونى فى الاعتبار .

٤ / ٢ / ٣ - اختبارات تحديد التركيب الكيمايى للخرسانة المتصلدة :

خ ٢١ : تحديد محتوى الأسمنت ونسبة الأسمنت / الركام :

يمكن تحديد محتوى الأسمنت فى الخرسانة المتصلدة عن طريق عمل تحليل كيمايى لتراب الخرسانة الذى يتم الحصول عليه عن طريق الثقب ، أو بأخذ جزء من القلب الخرسانى المستخرج من العضو المراد اختباره (٢٨) ، وطريقة التحليل تعتمد على نقطتين : هل محتوى وتدرج الركام مطلوب كذلك ؟ وهل نوع الأسمنت والركام غير معلوم ؟ ، وفى حالة الرغبة فى معرفة نسبة الأسمنت / الركام أو نوع الركام فلا بد من عمل تحليل صخرى (Petrographic analysis) .

وإذا أمكن الحصول على عينات من المواد التى استخدمت فى صنع الخرسانة فيمكن تقليل نسبة الخطأ فى التحليل الكيمايى أو الصخرى بدرجة كبيرة ؛ لأنه فى هذا الحالة لن توجد افتراضات كثيرة بشأن المواد المستخدمة .

وتظهر الحاجة لإجراء هذا الاختبار فى حالة ظهور مؤشرات عن ضعف المقاومة ، أو التحمل مع الزمن ، أو زيادة النفاذية ، أو حدوث تصدع وانحيار لأجزاء من الخرسانة .

خ ٢٢ : تحديد نسبة الماء / الأسمنت :

إذا تم تحديد محتوى الأسمنت كيماييا ، فإن معرفة كمية المياه التى استخدمت فى الخلطة يتيح حساب نسبة الماء / الأسمنت ومن ثم تقدير مقاومة الخرسانة ، وتعتمد طرق تحديد كمية المياه الأصلية فى الخلطة على اختبارات غمر الخرسانة المتصلدة فى الماء ، وهى تعطى نتائج تقريبية فقط ، ولا يمكن استخدام هذه الطرق مع الخرسانة سيئة الدمك أو التالفة أو التى تعرضت لهواء مدة طويلة ، وفى حالة معرفة تصميم الخلطة الأصلية أو نسبة الماء / الأسمنت التى استعملت ، فيمكن مقارنة نتائج الاختبار غير الدقيقة بها للتأكد .

وتظهر الحاجة لإجراء هذا الاختبار فى حالة ضعف المقارمة ، أو التحمل مع الزمن ، أو الشك فى زيادة النفاذية ، أو ظهور تصدع للخرسانة .

خ ٢٣ : نسبة ونوع الإضافات أو التلوث :

هناك عديد من الإضافات التي يمكن استعمالها في الخرسانة ، والتحليل الكيميائي لتحديد نسبة ونوع الإضافات يركز على المواد الضارة بالخرسانة والتي قد توجد في هذه الإضافات مثل الكلوريدات والكبريتات والمواد العضوية .. إلخ . ، وبالنسبة للكلوريدات فقد سبق الحديث عن تحديد محتواها في الجزء الخاص باختبارات صدأ الحديد ، وتحديد نسبة الكبريتات ممكنة بسهولة عن طريق التحليل الكيميائي لعينة من الخرسانة في المعمل ، أما المواد العضوية الضارة والسكر فيمكن تحديد نسبتها عن طريق بعض الاختبارات المعملية مثل الفحص بأشعة الفلورسنتية (x - ray fluresent spectroscopy) أو بامتصاص الأشعة فوق الحمراء (Infrared absorption) .

وتظهر الحاجة لإجراء هذا الاختبار عند حدوث تصدع للخرسانة مثل الشروخ وتساقط الخرسانة نتيجة صدأ الحديد والتآكل السطحي .. إلخ .

خ ٢٤ : نوع الأسمنت :

معظم الخرسانات تحتوي على أسمنت بورتلاندي عادي أو عالي المقاومة منخفض الحرارة أو مقاوم للكبريتات ، ويصعب التفرقة بين هذه الأنواع بعمل تحليل سريع للخرسانة ، ولكن عمل تحليل كيميائي كامل للأجزاء الناعمة من عينة الخرسانة ومقارنتها بالتحليل الكيميائي للأنواع المختلفة من الأسمنت البورتلاندي ، قد يساعد على تحديد النوع المستعمل ، كما أن الفحص الصخري يساعد أيضا Petrological examination ، أما أسمنت خبث الأفران والأسمنت عالي المقاومة فيمكن التعرف عليهما من لون عجينة الأسمنت ، ولكن يجب الحذر من أن نوع الركام المستخدم قد يؤثر في لون العجينة كذلك ، وهناك اختبار كيميائي سريع لتحديد نسبة الأسمنت عالي المقاومة (٢٩) .

وتظهر الحاجة لإجراء هذا الاختبار عند الشك في استعمال الأسمنت عالي المقاومة ، أو الشك في عدم استعمال الأسمنت المقاوم للكبريتات في حالة النص على استخدامه في مواصفات الأعمال .

خ ٢٥ : نوع الركام :

يمكن تحديد نوع الركام المستخدم بسهولة بفحص الخرسانة ذاتها بعد إزالة الطبقة السطحية ، أو بفحص القلب الخرساني المستخرج منها ، وإذا لم يمكن تحديد نوع الركام

بالفحص البصرى فيمكن عمل فحص صخرى على شريحة مقطوعة من الخرسانة المتصلدة ، وفى بعض الحالات يصبح من الضرورى التحقق من وجود السيليكات النشطة فى الركام .

وتظهر الحاجة لإجراء هذا الاختبار عند حدوث تصدع ، أو تشقق ، أو سقوط للخرسانة ، أو ظهور بقع على سطحها ، أو ظهور تمليح على السطح .

٤ / ٢ / ٤ - اختبارات التحميل :

فى بعض الأحيان يصعب الحكم على سلامة المنشأ الخرسانى بالحسابات وإجراء الاختبارات على المواد وحدها - سواء اختبارات متلفة أم غير متلفة - وفى أحيان أخرى قد تقترح الحسابات المبنية على المعلومات المتوفرة من الاختبارات أن المنشأ لن يصلح للاستخدام بعد فترة ، أو أن معامل الأمان غير كاف ، وفى هذه الحالات قد يكون من المفيد عمل تجارب تحميل على المنشأ كله أو أجزاء منه للحكم عليه .

٤ / ٢ / ٤ - متى تجرى اختبارات التحميل :

أ - التفاصيل الإنشائية وخواص المواد المستخدمة غير متاحة ويصعب تقديرها .

ب - تأثير قصور التصميم أو سوء التنفيذ - إن وجد - يلزم للحكم عليه عمل تجربة تحميل .

ج - تصدع المنشأ الخرسانى أو تغيير استخدامه ، بحيث يصبح من الضرورى للحكم على كفاءته فى نقل الأحمال مستقبلاً تحميله بهذه الأحمال .

د - أن يكون التصميم الإنشائى معقداً ، ولا توجد خبرة كافية فى هذا النوع من المنشآت .

وحيث إن تجربة تحميل عضو من منشأ خرسانى أو تحميل المنشأ كله هى عملية مكلفة ، وتستغرق وقتاً وجهداً ليس بالقليل ويصعب تكرارها ، فلا بد من استخدامها كملجأ أخير بعد محاولة استنفاد كل الطرق الأخرى للحكم على سلامة المنشأ وتقدير صلاحيته للاستخدام ، كما يجب إجراء الحسابات الخاصة بتجربة التحميل بدقة قبل إجرائها للاستفادة القصوى من القياسات التى ستم .

٤ / ٢ / ٤ - أنواع اختبارات التحميل :

أ- التحميل بحمل التشغيل Static service Load test :

والغرض من هذا الاختبار هو قياس أدائية Serviceability المنشأ لوظيفته تحت حمل التشغيل المتوقع - مثلاً قياس الترخيم والشروخ ... - إلخ - أو للتأكد من التصرف الإنشائي لجزء من المنشأ أو للمنشأ كله - مثلاً طريقة توزيع الأحمال على كمرات السقف .

ب - التحميل بحمل زائد Overload :

وفيه يتم تحميل المنشأ أو جزء منه بحمل زائد - عادة الحمل الميت بالإضافة إلى مرة ونصف الحمل الحى - للتأكد من وجود معامل أمان كاف بالنسبة لحمل التشغيل ، وإذا لم يكن هناك تصدع فى المنشأ فلن يؤدي هذا الاختبار إلى الانهيار، أما إذا كان هناك تصدع ظاهر فيمكن استخدام هذا الاختبار لتقدير حمل التشغيل الآمن - على أساس معامل أمان محدد - وفى هذه الحالة إذا كانت طريقة الانهيار (Mode of failure) بها مخطوئية كافية (Ductile) فلن يلزم استمرار التحميل حتى الكسر، ولكن يمكن تحديد الحمل الأقصى الذى يستطيع المنشأ - أو جزء منه تحمله - على أساس أقصى تشكل أو أكبر عرض للشروخ مسموح به ، ثم بأخذ معامل الأمان المطلوب يمكن تحديد حمل التشغيل الآمن .

ج - التحميل حتى الكسر Static Load test continued to collapse :

ويجرى هذا الاختبار على المنشآت المنتجة بكميات كبيرة Mass production ، أو أجزاء المنشآت - مثل الخرسانة سابقة الصب - أو على جزء من مبنى للتحقق من طريقة الانهيار (Mode of failure) وتقدير حمل الانهيار لمنشآت مماثلة أو أجزاء مماثلة ، وتقدير حمل الانهيار لمنشآت مماثلة يجب أن يأخذ فى الاعتبار التغيرات المحتملة فى خواص المواد نتيجة طريقة الصناعة أو الإنشاء ، ويمكن استخدام الاختبارات غير المتلفة - انظر قسم ٤ / ٢ / ١ - للمساعدة فى تقدير حمل انهيار المنشآت المماثلة .

ويجرى هذا الاختبار عن طريق عزل المنشأ المراد اختباره أو جزء من المنشأ ، وتحمله حتى الكسر فى الموقع أو نقله إلى المعمل واختباره هناك حسب التكلفة وصعوبات النقل .

د - التحميل بأحمال ديناميكية Dynamic testing :

قد يصبح من الضروري أحيانا التحقق من التصرف الديناميكي للمنشأ أو تقدير مدى

تحملة للكلال (Fatigue) ، والتصرف الديناميكي يمكن قياسه على أساس قياس اتساع ذبذبة الاهتزازات Vibration amplitudes للترددات المختلفة عند التشغيل أو عند التحميل بأحمال ديناميكية خاصة ، أما تقدير مدى تحمل الكلال Fatigue life للأعضاء المتماثلة المعرضة لأحمال كلال متماثلة كذلك فيتم بإزالة بعض هذه الأعضاء واختبارها في المعمل تحت أحمال الكلال حتى الكسر، وهناك بديل لإزالة الأعضاء واختبارها وذلك عن طريق اختبار عينات لها نفس معامل تركيز الإجهادات (Stress concentration factor) مثل الأعضاء الأصلية ، حيث تحسب الإجهادات في العينات عند الإجهادات المعلاة stress raiser في الأعضاء ، وعن طريقها يمكن تقدير مدى تحمل الأعضاء للكلال ، وعموماً فتحتاج اختبار التحميل الديناميكي تحتاج إلى استشارة أخصائي لتحديد مدى إمكانية الاستفادة منها .

٤ / ٢ / ٤ / ٣ - الإعداد لاختبار التحميل :

أ - التحليل المبدئي :

يجب عمل تحليل إنشائي مبدئي للجزء الذي سيجرى تحميله، للتأكد من أن تتابع الأحمال وكيفية التحميل تؤدي إلى الوصول إلى أكبر عزم ، وأكبر قوة قص ، وأكبر دوران وتشكل، وأكبر تأثير على اتزان الجزء الذي يجرى اختبارها، أو أكبر تزاوج Combination من هذه القوى والعزوم ، كما يجب حساب التأثير المتوقع لهذه الأحمال - حساب الإجهادات والتشكل - على المنشأ .

ب - الحاجة للإصلاح :

إذا كان المنشأ أو الجزء سيجرى اختبارها قد تصدع أو في حاجة إلى إصلاح ، فلا بد أن يحدد المهندس الاستشاري إذا ما كان من الممكن إجراء اختبار التحميل في الظروف الموجودة أم أنه لابد من إصلاح المنشأ أولاً .

ج - التخطيط للاختبار :

التخطيط يجب أن يأخذ في الاعتبار كل خطوات الاختبار، ويحدد ما ينبغي عمله في حالة حدوث تشكّل ، أو تشريح أكبر من المتوقع ، أو انهيار جزئي أثناء التحميل ، أو أي ظروف أخرى تعمل الاحتياطات اللازمة لها .

د - احتياطات الأمان :

هناك عنصر خطر فى كل اختبارات التحميل وخاصة تحميل المباني القائمة حيث تكون طريقة تصرفها (Behaviour) ومسارات الأحمال بها غير معروفة بدقة ، ويجب أن يكون المهندس الاستشارى أو أحد المهندسين ذوى الخبرة مسئولاً عن عملية الاختبار والإعداد لها ومسئولاً عن أمان العاملين بصفة خاصة ، حيث يحرص على البحث عن علامات الانهيار الجزئى وعلى عمل الاحتياطات اللازمة لأمان العاملين الذين يتوجب أن يكونوا من العمال المدربين وليسوا من العمال العاديين .

فالمنشآت الحجرية الذاتية الثبات Free- standing مثل الإطارات المستوية Frames غير المربوطة فى الاتجاه العرضى ، يجب أن تدعم أفلا يحدث لها انهيار فى الاتجاه العرضى Lateral collapse وذلك بالحد من الحركة العمودية أثناء الاختبار، ويتم ذلك باستخدام الساندات* (Chocks) أو ألواح الخشب التى تزال تدريجياً مع تقدم التجربة .

أما عند اختبار الكمرات والبلاطات فتستخدم شدة أسفل السقف أو على الأقل دعائم رأسية (probs) سائبة بعيدة بمسافة صغيرة عن السقف حتى لا تؤثر فى نتائج الاختبار ولكنها قوية بدرجة كافية لتحمل صدمة انهيار السقف فى حالة حدوث هذا الانهيار .

وإذا كان السقف المختبر أحد أسقف متكررة فيستحسن تدعيم السقف الواقع أسفله - والسقف الواقع أسفله بدورين إذا لزم الأمر - لأنه فى حالة انهيار السقف الذى يجرى اختباره سيكون الحمل الواقع على دعائم الحماية ضعف وزن السقف وحمل التجربة - الوزن يتضاعف نتيجة تأثير الصدمة Impact - مما قد يؤدى إلى انهيار السقف الواقع أسفله إذا لم يكن مدعوماً ، وقد يلزم دعم السقف الذى يقع أسفل ذلك السقف .

ويجب الأخذ فى الاعتبار احتمالات حدوث تلف للأجزاء المجاورة فى نفس المبنى أو للمباني المجاورة، ويجب دعم الجزء المختبر للتأكد من اتزانته حتى فى حالة انهياره .

هـ - إعداد الأعضاء للاختبار :

وتشمل كشف وتجهيز وتنظيف أماكن وضع ساعات القياس أو وسائل قياس الانفعال، كما تشمل عزل أجزاء المنشأ التى سيجرى اختبارها - فى بعض الحالات - عن طريق استخدام المنشار أو ماكينة قطع القلب الخرسانى .

يجب أن تقتصر القياسات على الحد الأدنى اللازم لتوفير المعلومات الكافية للاستفادة من تجربة التحميل ، أما القياسات التي تعطى نتائج مهمة ولكنها ليست أساسية ، فيمكن أن تجذب الانتباه بعيداً عن ملاحظات قد تكون هامة جداً بالنسبة لنتائج الاختبار أو بداية ظهور علامات الانهيار .

والقياسات المطلوبة عموماً هي التشكل - شاملاً الدوران - والتصدع - الشروخ - ورغم أن الأجهزة الالكترونية - مثل مقياس الانفعال أو الحركة الكهربائي (Resistance) (traice strain gauge) ، (displacement transducer) - تتمتع بميزتين : أنها تعطى إمكانية قراءة عدد كبير من القراءات بسرعة ، ومن مكان بعيد عن المنطقة التي يجري تحميلها ، إلا أنها مكلفة جداً ، وخاصة إذا كانت منطقة الاختبار معرضة لظروف جوية قاسية تحتاج إلى حماية خاصة لمقاييس الانفعال والحركة .

أما المقاييس الميكانيكية فرغم أنها أبطأ في استعمالها إلا أنه يمكن الاعتماد عليها أكثر ، وخاصة في تجارب التحميل التي تجري في الموقع ، ويمكن قياس تشكل حتى ٥ سم بساعات القياس (Dial gauges) ذات دقة حتى ٠,١ مم ، أما التشكل الذي يزيد عن ذلك فيقاس بالمسطرة المدرجة أو يقاس من بعد بالثيودوليت إذا احتاج الأمر ، ويجب قياس التشكل عند نقاط الارتكاز بالإضافة إلى قياسه في وسط البحر بالنسبة للأعضاء المعرضة لانحناء وذلك لتلاشي الخطأ الناجم عن تقلص الأعمدة تحت الحمل أو حركة الركائز السفلى .

وعند الحاجة إلى قياس الدوران فيتم ذلك عن طريق الكلنومتر (Clinometer) ، وفي حالة القيم الكبيرة للحركة فيمكن استخدام إبر مثبتة في المنشأ ، وتتحرك على مقياس مدرج مثبت بطريقة منفصلة عن المنشأ .

أما ملاحظة الشروخ فتسهل عند دهان الأعضاء بدهان أبيض - الجير مثلاً - بعد الفحص الأولي وقبل بدء التجربة ، وتقاس عروض الشروخ الجديدة بالعدسة المكبرة - انظر شكل (٢٨ / ٣) - ولكن استخدامها يجب أن يكون محدوداً وذلك لاعتبارات الأمان ، وعند قراءة زيادة عرض الشروخ مع تقدم التحميل فلا بد من تحديد مكان القياس بدقة حتى يكون مكان القياس واحداً في كل مرة .

ويمكن استخدام أجهزة القياس الميكانيكية Demec gauges لقياس الانفعالات

وعروض الشروخ أيضا - انظر شكل (٣ / ٢٩) - وذلك رغم أن طول القياس الخاص بها عادة لا يكون صغيرا بدرجة كافية لقياس الانفعالات فى المناطق التى يحدث بها تغير كثير فى الانفعالات - يمكن استخدام أجهزة قياس الانفعال الكهربائية فى هذه الحالة - وفى حالة الإجهادات ثنائية المحاور (Biaxial stresses) حيث تكون اتجاهات الإجهادات الرئيسية (Prinicipal Stresses) غير معلومة فيمكن استخدام الروسيتات (rosiottes Strain gauge) لقياس الانفعالات على المحورين .

ويمكن الكشف عن حدوث خضوع فى حالة اختبار المنشآت المعدنية عن طريق دهان سطحها بطلاء قصف (Brittle Lacquer) .

٤ / ٢ / ٤ - الأحمال :

يمكن أن تكون الأحمال عبارة عن أوزان مواد توضع على الجزء المراد اختباره - أحمالا استاتيكية - أو يمكن أن يتم التحميل ميكانيكيا .

فى حالة الأحمال الاستاتيكية يمكن استخدام الرمل أو الطوب أو شكاير الأسمنت فى التحميل ، ويمكن أن يتم التحميل عن طريق العمال العاديين أو باستخدام الأوناش البرجية ، وفى حالة استخدام الرمل يكون التحميل عن طريق حقائب الرمل معلومة الوزن أو إذا أريد التحميل بدون عمالة يمكن عمل جوانب خشبية والتحميل بالرمل داخلها عن طريق الونش البرجى ، ولكن يتم تسوية سطح الرمل بواسطة أحد العمال ، وفى حالة التحميل بالطوب أو بلوكات الأسمنت يجب أن توضع بطريقة مناسبة لتفادى حدوث ظاهرة العقد Arch action .

وفى جميع الأحوال يجب أن يكون هناك ميزان فى مكان التجربة للتأكد من قيمة الأحمال التى ستوضع على الجزء الذى سيجرى اختباره .

وعيب التحميل بالأحمال الاستاتيكية هو بطء عملية التحميل ، ولكن يميزها أن الأحمال متوفرة فى الموقع ، أما إذا كان الاختبار حتى الانهيار فإن استخدام الأحمال الاستاتيكية يتطلب إجراءات الأمان السابق ذكرها ، بالإضافة إلى الأخذ فى الاعتبار أنه فى حالة حدوث ميل ولو قليل ، فإن أكوام الطوب يمكن أن تقع وخاصة عند الحواف ، ويصبح استخدام الأحمال الاستاتيكية فى هذه الحالة أخطر من التحميل الميكانيكى .

والتحميل الميكانيكى يشمل استخدام الروافع الهيدروليكية أو الميكانيكية -Hydraul-

ic or screw jacks والأوناش والكابلات المشدودة بالروافع وغيره. ويمكن قياس الحمل فى هذه الحالة عن طريق أجهزة قياس الضغط Pressure gauges عند استخدام الروافع ولكن يفضل استخدام خلية التحميل Load cell أو حلقة التحميل Proving ring عند مكان التأثير بالحمل على المنشأ ، ويجب أن تكون الأحمال محورية ما أمكن لتكون نتائج قراءة الحمل دقيقة ولفادى عطل أجهزة التحميل.

وعادة ما تؤدي وسائل التحميل الميكانيكية إلى حدوث منع للحركة عند نقطة التحميل ، وللحد من تأثير ذلك يمكن استخدام الكرة أو الأسطوانة Bell seatings or Rouers كركائز للتحميل ، ويمكن تمثيل الحمل الموزع باستخدام عدد كاف من الأحمال المركزة أو باستخدام رافعة واحدة مع استخدام كميرات توزيع الحمل حتى يصل إلى الجزء المراد اختباره على صورة أحمال متعددة ، ويمكن ربط الروافع بحيث تحافظ على اتزانها عند حدوث انهيار جزئى.

٤ / ٢ / ٤ - طريقة إجراء الاختبار :

ينص الكود المصرى الجديد على طريقة إجراء اختبار التحميل بحمل زائد على النحو التالى :

- لا يجوز عمل اختبارات تحميل قبل انتهاء ستة أسابيع من ابتداء تصلد الخرسانة.
- يتم أخذ القراءات الأساسية لسهم الانحناء - التشكل - قبل إجراء الاختبار مباشرة..
- تعرض أجزاء المنشأ المراد اختباره لحمل مقداره مرة ونصف الحمل الحى المنصوص عليه فى التصميم ، بالإضافة إلى حمل مكافئ لجميع الأحمال الميتة. فى صورتها النهائية - من أرضيات وقواطع .. إلخ.
- يوضع الحمل على أربعة مراحل متساوية تقريبا ، مع عدم حدوث أى صدمات أثناء التحميل.
- ويتم أخذ قراءة سهم الانحناء وعروض الشروخ بعد ٢٤ ساعة من رفع حمل الاختبار.

ويضيف مرجع (٣١) بعض الملاحظات الهامة منها :

- قبل بداية التحميل يستحسن عمل استكشاف وأخذ صور لترتيبات التحميل

(Testing arrangement) ، كما يستحسن تسجيل قراءات سهم الانحناء وظهور الشروخ وأى قياسات أخرى مطلوبة عند كل مرحلة من مراحل التحميل ، كما يجب رسم العلاقة بين الحمل والتشكل عند النقاط الهامة أثناء سير التجربة للتوصل إلى تقدير سليم عن تصرف المنشأ وهل مازال يتصرف بطريقة مرنة أم لا ، وكذلك التوصل إلى تقدير عن متى يبدأ الانهيار .

« بعد كل مرحلة من مراحل التحميل تسجل قراءات سهم الانحناء على فترات زمنية متساوية حتى تثبت قراءة الساعات ، وتعتبر القراءة ثابتة إذا كان الفرق بين قراءة الساعات فى مدى ساعتين لا يزيد عن ١٠ ٪ من القراءة الأصلية ، ولا يتم إضافة حمل المرحلة التالية قبل ثبات قراءة الساعات للمرحلة اللاحقة .

« عند ظهور أى بادرة تصرف غير خطى (non- Linear) يتم رفع الحمل وأخذ قراءات استعادة المنشأ لشكله الأصلي (Recovery) .

٤ / ٢ / ٤ - الحكم على نتائج التجربة :

إذا كانت شروط الأمان هى فقط التى تحدد قبول أو رفض المنشأ ، فإن المنشأ يعتبر قد استوفى شروط الأمان طبقاً للكود المصرى الجديد إذا تحقق ما يلى :

أ - إذا كانت أكبر قيمة لسهم الانحناء S_{max} فى العنصر المختبر أقل أو تساوى :

$$S_{max} \leq L_{2t} / 2.5 t$$

حيث $L_t =$ بحر العنصر المختبر مقاسا بالمتر ، ويكون هو البحر الأصغر فى حالة البلاطات اللاكمرية أو البلاطات ذات الاتجاهين ، أما فى حالة الكوابيل فتؤخذ ضعف المسافة من وجه الركيزة حتى نهاية الكابولى .

$t =$ سمك العنصر مقاسا بالسنتيمتر .

ب - فى حالة إذا ما زاد سهم الانحناء الأقصى S_{max} للعنصر عما هو وارد بالعلاقة السابقة ، فيجب أن يكون الجزء المسترجع من سهم الانحناء الأقصى بعد ٢٤ ساعة من رفع الحمل لا يقل عن ٧٥ ٪ من قيمة سهم الانحناء الأقصى ، وأن يكون عرض الشروخ فى حدود المسموح به .

« وفى خلال ٢٤ ساعة من رفع الحمل إذا لم يخفف ٧٥ ٪ على الأقل من سهم

الانحناء الأقصى يجب إعادة الاختبار بنفس الطريقة السابقة.

ويعتبر اختبار جزء المنشأ غير مقبول إذا لم يخفف على الأقل ٧٥٪ من سهم الانحناء الذى ظهر أثناء الاختبار الثانى أو أن تكون عجروض الشروخ أكبر من المسموح به ، أو يحدث تساقط للخرسانة السطحية أو أى علامات تصدع أخرى.

أما إذا كانت أدائية المنشأ ('Serviceability') تدخل أيضا فى الحكم على قبول أو رفض المنشأ ، فإن المنشأ يعتبر مقبولا من حيث أدائه لوظيفته إذا لم يزد سهم الانحناء - عند التحميل بالحمل الحى بالإضافة إلى الحمل الميت كله - عن القيم المسموح بها فى التصميم ولم تظهر شروخ تؤثر فى تحمل الخرسانة مع الزمن (Durability).

وفى حالة عدم نجاح جزء المنشأ فى تجربة التحمل نتيجة قيم عالية لسهم الانحناء مع عدم استرجاع ٧٥٪ منها بعد رفع التحميل أو نتيجة ظهور شروخ واسعة أو علامات تصدع أخرى أو وجود خطأ فى طريقة الإنشاء ، وجب على الاستشارى اتباع الحلول التالية:

• وضع ركائز إضافية إن أمكن.

• عمل التخفيض الممكن فى الأحمال الحية وتحسين توزيع الأحمال ، وتعديل ترتيب الأحمال المركزة.

• عمل التخفيض الممكن فى الأحمال الميتة.

• عمل التخفيض الممكن للتأثير الديناميكى إن وجد.

ويعتبر المنشأ غير صالح للاستعمال للغرض الذى صمم من أجله إذا كانت جميع هذه الإجراءات لا تزال غير كافية.

أما العناصر غير المعرضة لعزوم انحناء بصفة أساسية ، فيتم تقييم أمانها عن طريق التحليل الإنشائى للأحمال الواقعة عليها ، ولا يجوز إجراء اختبار تحميل لها.

المراجع

- 1 - British standards Bs 812 :
" Methods of Sampling and Testing of Mineral Aggregates " Part 3 :
Mechanical Properties, 1975.
- 2 - Mindess, S . and Young J . F :
" Concrete " printice - Hall INC. publishers, 1981.
- ٣ - الكود المصرى لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية المسلحة - وزارة الإسكان والتعمير
- مركز بحوث البناء والإسكان والتخطيط العمرانى الصادر بالقرار الوزارى رقم
٤٦٤ - القاهرة ١٩٨٩ .
- 4 - Jackson, N :
" Civil Engineering Materials " English Language Book Society Mac-
millan, ELBS, third ed., 1984.
- 5 - British Standards BS 1881 :
" Methods of Testing Concrete " Part 4 : Methods of Testing Concrete
for Strength, 1970.
- 6 - Gilkey, H. J :
" Moist Curing of Concrete " Engineering News Records, 119, 1937,
pp 630 - 633.
- 7 - Lea, F . M . :
" The Chemistry of Cement and Concrete " Arnold, London 1970.
- 8 - Bennett, E . W . and loat, D . R :
" Shrinkage and Creep of Concrete as Affected by the Finess of Port-
land Cement " Mag. of Concrete Research, Vol . 22, 1970, PP 69 - 78.
- 9 - Bennison, P :
" Materials for Concrete Repair : Innovations " Construct. and Build-
ing Materials, vol. 1, No. 3, Sept, 1987, PP 117 - 122.
- 10 - Beeby, A. W :
" The Prediction of Crack Widths in Hardened concrete " The Struct .

Eng., Vol 56A, No. 1, Jan., 1979, PP9 - 17.

11 - Concrete Society working party :

" Non - structural Crackks in Concrete " Concrete Society Tech . Report, No. 22, 1982, 38 PP.

12 - ACI Committee 224 :

" Control of Cracking in Concrete Structures " ACI Journal, Dec. 1972, PP, 717 - 727.

13 - British Standards BS 4408 :

" Recommendations for Non - destructive Methods of Test of Concrete.

Part 1 : 1969, Electromagnetic Cover Measuring Devices.

Part 3 : 1970, Gamma Radiography of Concrete.

Part 4 : 1971, Surface Hardness Measurements.

Part 5 : 1974, Measurement of Velocity of Ultrasonic Pulse in Concrete.

14 - Davis, S . G . and Dunn, C . S :

" From Theory to Field Experience with Non - destructive Vibration Testing of piles " Proc . ICE, Part 2, Dec. 1974.

15 - Levy , J . F :

" Sonic Pulse Method of Testing Cast in - Situ Concrete Piles " Ground Eng., May 1970.

16 - Preiss, K . and Caiserman, A :

" Non - destructive integrity Testing of Bored piles by Gamma ray Scattering " Ground Eng., May 1975.

17 - Chabowski, A . J . and Bryden - Smith, D . W :

" A Simple pull - out Test to Assess Strength of In - situ Concrete " precast concrete, May 1971, P 243 (reprinted as BRE current Paper Cp 25/ 77) .

18 - Kolek, J :

" Non - destructive Testing of Concrete by Hardness Methods " symposium on Non- destructive testing of concrete and timber, ICE, June 1969.

١٩ - حبيب زين العابدين :

« الحكم على سلامة المنشآت الخرسانية » - طبع بشركة العبيكان للطباعة والنشر
المملكة العربية السعودية ١٩٨٧ .

20 - Cordon, A :

" Recommended Practice for Evaluation of Compression Test Results
of Field Concrete " J . of ACI 1956, No . 6 , P . 265.

21 - Fenning, P . and Matthews, S:

" Radar Inspection of Concrete Structures " Int. Conference on
Structural Faults and Repair, Vol. 2, Eng Technics Press, London.
1989, PP 219 - 229 .

22 - Pullar - Strecker, P :

" Corrosion Damaged Concrete - Assessment and Repair " CIRIA,
London, 1987.

23 - Building Research Establishment (BRE) :

" Specified Method for Detection and Determination of chloride in
Hardened Concrete " BRE leaflet No. 15, 12 / 77.

24 - British standards BS 1881 :

: Methods of Testing Concrete : Part 5 : 1973, Methods of Testing Con-
crete for other than Strength. Part 6 : 1971, Analysis of hardened concrete .

25 - American Society for Testing and Materials (ASTM) :

" Obtaining and Testing Drilled Cores and Saved Beams of Concrete "
ASTM 42 - 83 .

26 - German Standards DIN 1048 :

" Pruefverfahren Fur.

27 - Neville, A . M :

" Properties of Concrete " Pittman Books, 3 rd. ed., 1980.

28 - Building Research Establishment (BRE) :

" Determination of Chloride and Cement Content in Hardened Port-
land Cement Concrete " BRE IS, 13 / 77.

29 - Building Research Establishment (BRE) :

" Rapid Chemical Test for the Determination of High - alumina cement
Concrete " BRE leaflet IS 15 / 74 .

- 30 - **Figgs , J . W . and Bowdin, S . R :**
" The Analysis of Concrete " HMSO, London, 1977.
- 31 - **The Institution of Structural Engineers :**
" Appraisal of Existing Buildings " London , July, 1980.

الباب الرابع

عيوب الخرسانة المسلحة

أنواعها ، أشكالها ، وأسباب حدوثها

أ . د. شريف أبوالمجد

مقدمة :

إن العيوب الظاهرة للخرسانة المسلحة تنقسم إلى ثلاثة أقسام رئيسية :

• الشروخ .

• وتساقط الخرسانة .

• وتآكل سطحها وتفتته .

ويضاف إلى هذه الأقسام عيب فى مظهر الخرسانة هو التبقيع والتمليح ، وكل من هذه العيوب الرئيسية واضح فى حد ذاته ويمكن بسهولة رصده ، وتمييزه عن غيره من العيوب ، ولكن كل منها - وبخاصة الشروخ - تأخذ أشكالاً عدة تختلف أهميتها ومدى خطورتها اختلافاً كبيراً ، كما أن هذه العيوب التى تدل على حدوث تدهور بخرسانة المنشأ يمكن أن تحدث معاً فى مكان واحد ، وليس ذلك فقط وإنما تظهر عدة أشكال لكل عيب منها ، مما يجعل مسألة تشخيص الحالة مسألة دقيقة تحتاج إلى معرفة أنواع هذه العيوب وأشكالها وأسباب حدوثها ، وبداية إصلاح تصدع الخرسانة يكون برصد حالة المنشأ وتصنيف أشكال العيوب الظاهرة والمستترة به ، وتقدير كل الأسباب الممكنة لحدوث هذه العيوب ، وذلك يتطلب أولاً معرفة شاملة بكل العوامل المؤدية إلى تصدع الخرسانة ، وفهم دقيق لكيفية تأثير كل منها ، وشكل ومكان العيب الناتج عن هذا التأثير ، وهذا ما سنتناوله بالتفصيل فى هذا الباب .

ويؤدى النقص فى فهم أسباب وأسس حدوث الشروخ - من جانب المصمم أو المنفذ أو المشرف على التنفيذ - إلى حدوث شروخ كان من الممكن تجنبها أو عدم قبول شروخ فى الحالات التى لا يمكن تجنب التشريح فيها ، فمثلاً من الفروض الأساسية فى

تصميم قطاعات الخرسانة المسلحة أنها يحدث بها شروخ فى منطقة الشد عند تعرضها لعزوم انحناء ، ومن الممكن باستعمال أساليب التصميم السليمة وتوزيع صلب التسليح توزيعاً مناسباً التحكم فى هذه الشروخ لكى لا تؤثر على استخدام المنشأ أو مظهره .

والشروخ غير الإنشائية ممكن أن تظهر سواء فى الخرسانة المتصلدة أو قبل تصلدها ، رغم أن العاملين فى حقل التشييد لا يتقبلون أن بعض الشروخ غير الإنشائية لا يمكن تجنبها ، مثلها مثل شروخ الخرسانة فى منطقة الشد ، فالمصمم يجب أن يدرك طبيعة انكماش وتمدد الخرسانة المسلحة ، فهى تقلص عند تصلدها وجفافها ، وتمدد عند ارتفاع درجة حرارتها ، ولو لم يوفر المصمم عدداً كافياً من وصلات التمدد والتقلص فلن يمكن تجنب الشروخ فى هذا المنشأ . والمهندس المنفذ يجب أن يدرك أهمية بند معالجة الخرسانة فى منع حدوث شروخ الانكماش بها ، بشرط أن يبدأ فى الوقت المناسب ويتم بالطريقة المناسبة ، فمعالجة الخرسانة يجب أن تبدأ بعد ساعتين إلى ست ساعات من انتهاء صب البلاط بحد أقصى ، وذلك حسب درجة الرطوبة والحرارة وسرعة الرياح ، والطريقة المناسبة للمعالجة تعنى أن تظل الخرسانة مبللة بصفة مستمرة ، ولا يسمح بتعرضها لدورات البلل والجفاف كما يحدث عادة ، والمشرف على التنفيذ يجب أن يتقبل أنه فى بعض أنواع المنشآت لا يمكن التخلص من الشروخ كلية وإنما يمكن فقط التحكم فى عددها واتساعها ، كما يجب أن يدرك أن حدوث الشروخ التى يمكن تجنبها ليس دائماً خطأ المنفذ وإنما يمكن أن تكون فى بعض الأحيان نتيجة خطأ المصمم ، ولذا فعليه مراجعة اللوحات الإنشائية من وجهة نظر القابلية للتشريح (حديد الانكماش ، توافر الوصلات اللازمة كفاية الغطاء الخرساني ... إلخ) .

والعيوب فى الأعضاء الخرسانية قد تؤثر على المظهر فقط ، وقد تكون دليلاً على وجود تدهور خطير ينبغى المسارعة بإصلاحه ، وقد يتمثل فيها التلف الحادث كله وقد تكون مجرد إشارة إلى وجود مشاكل أعمق وأخطر ، وخطورة ظهور أى عيب من عيوب الخرسانة يعتمد على نوع المنشأ كما يعتمد على وقت ظهور وشكل هذا العيب ، ولذا فلا بد من التعامل مع مشكلة ظهور عيوب فى الأعضاء الخرسانية بالاهتمام الواجب والفهم الكامل لأسبابها ومدى خطورتها .

أولاً : التبقيع والتمليح

إن ظهور البقع على أسطح الخرسانة المسلحة أمر متكرر الحدوث ولكنه لا يسبب إزعاجاً إلا من ناحية المظهر فقط ؛ لأنه من النادر أن تكون هذه البقع علامة على ضرر خطير يؤدي إلى تصدع الخرسانة - إلا في حالة بقع صدأ صلب التسلح .

وأنواع البقع الأكثر حدوثاً هي :

١ - التمليح :

وهو نتيجة تكون البللورات على السطح في الفجوات الداخلية عند تبخر محلول ملحي ، والمذيب المحتوى على أملاح هو الماء عادة ، وتكفي كمية بسيطة من الأملاح المذابة في الماء لحدوث التمليح على سطح الخرسانة ، ومن المعروف أن الأسمنت بعد الإماهة (Hydrated cement) يحتوي على هيدروكسيد الكالسيوم $C_2(OH)_2$ القابل للذوبان في الماء ، وينتج من التفاعل بين الأسمنت والجير والماء . وعندما يتغلغل ثاني أكسيد الكربون الموجود في الجو داخل المسامات وبوجود الماء يتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم مكوناً كربونات الكالسيوم التي تظهر في صورة ترسيب أبيض اللون يعرف بالتمlich ، وكربونات الكالسيوم تجد طريقها إلى الخارج بفعل غسل الخرسانة المتكرر سواء عن طريق المطر أو سريان الماء وعادة ما يظهر التمليح على سطح الخرسانة في المناطق المضيرة بعد فترة أمطار طويلة ، ويمكن أن يظهر التمليح أيضاً نتيجة الركام المحتوى على أملاح أو زيادة الجبس في الأسمنت أو سوء تخزين الركام بحيث تصل إليه المياه المحتوية على أملاح .

٢ - بقع الصدأ :

وهي البقع التي تظهر بالقرب من الحديد أو الصلب المدفون في الخرسانة - غير صلب التسلح - أو الألومنيوم - في كوبستات البلكنات - أو معدن النحاس إلخ ، وتكون بنية اللون وتؤثر تأثيراً ضاراً على شكل الخرسانة ، أما بقع صدأ صلب التسلح فهي تدل على عيب إنشائي خطير يجب إصلاحه بإزالة الخرسانة السطحية وحماية صلب التسلح - كما سيأتي ذكره في الباب الثامن .

٣ - بقق الحرق :

الحرسانة عادة ما يسوء سطحها بفعل النيران والدخان ، وإذا لم يؤثر الحريق إنشائيا على العضو الخرسانى فإن هذا اللون الأسود يلزم إزالته .

٤ - بقق الزيوت :

وهى تحدث عادة على أسطح الحرسانة الظاهرة فى الأرضيات ، وفى بعض الحالات تحدث فى الحوائط والكمرات فى المطابخ والمطابع ، وتكون أساسا نتيجة الزيوت والشحوم .

٥ - تلون الحرسانة :

إن الأجزاء العليا من الأعمدة والحوائط عادة ما يتغير لونها بطول ٣٠ - ٤٠ سم ، حيث يحدث ترسيب على السطح ، وبعد الجفاف يكون اللون والملمس لهذا الجزء مختلفا عن باقى الحرسانة ، وسبب ذلك هو زيادة كمية المونة Grout التى تتجمع فى الأجزاء العليا عند استعمال الهزازات بطريقة مبالغ فيها ، وفى الأعمدة والحوائط التى يتم بياضها فلا توجد مشكلة أما فى الحرسانة الظاهرة فيلزم إصلاح هذا العيب ليصبح اللون متجانسا .

ثانيا : الشروخ

إن ظهور الشروخ فى الخرسانة المسلحة له أسباب عدة ، ويأخذ أشكالاً عدة ، ويحمل دلالات عدة حسب وقت ظهور ومكان هذه الشروخ ، وتأثير هذه الشروخ يتراوح بين تأثيرها على المظهر فقط وبين تأثيرها على تحمل الخرسانة مع الزمن ، ودلالاتها تختلف من أنها تدل على حدوث أخطاء بسيطة فى التنفيذ إلى دلالتها على حدوث تدهور إنشائي خطير ، وهى قد تمثل التلف الحادث كله بحيث تنتهى المشكلة بملء هذه الشروخ وقد تمثل مشاكل أعمق وأخطر وتكون كقمة جبل الجليد الذى يظهر منه الجزء الأصغر ، وما خفى كان أعظم .

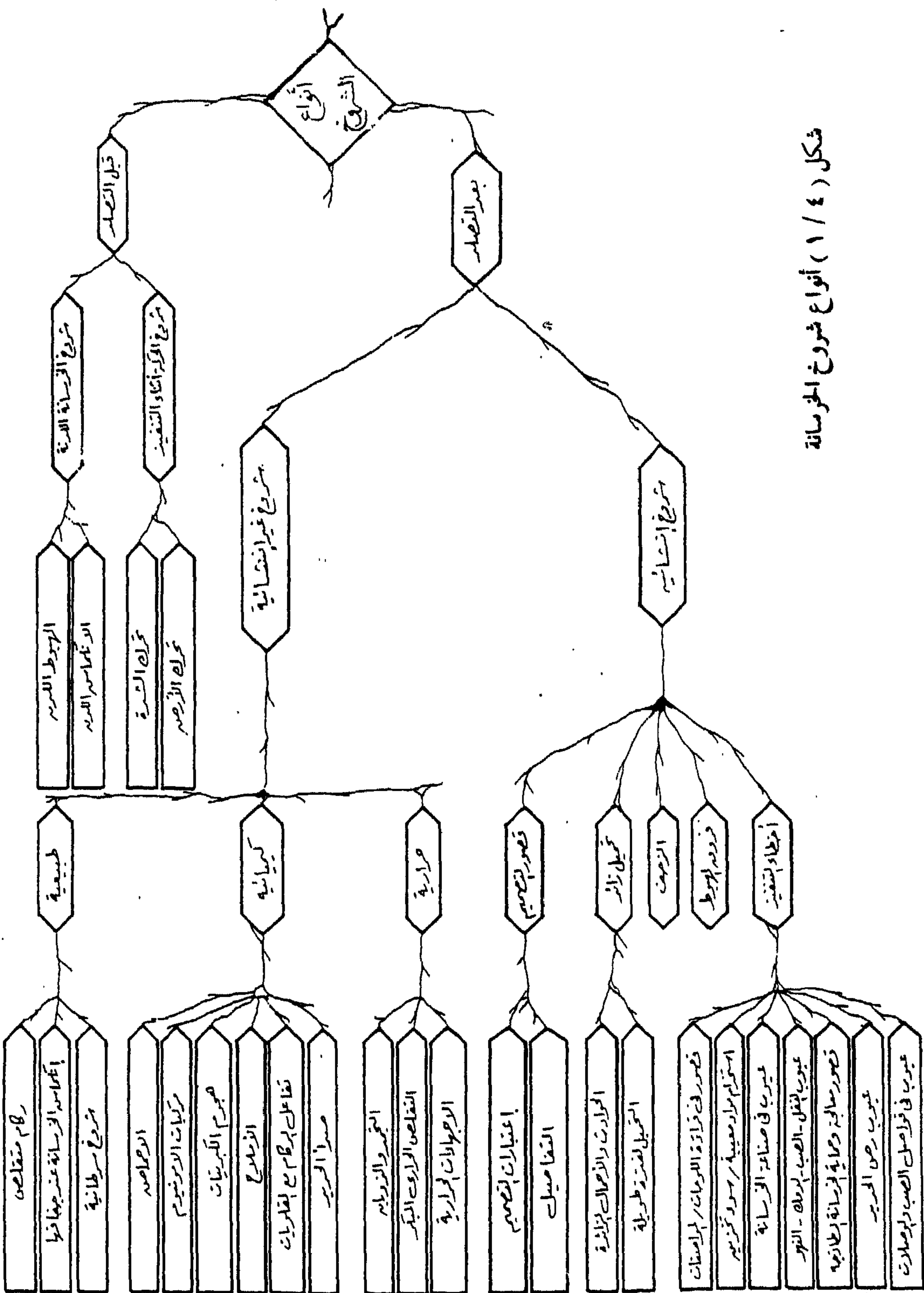
وتعتمد مدى خطورة الحالة عند ظهور الشروخ على نوع المنشأ كما تعتمد على طبيعة ومكان التشريح ، فمثلا الشروخ المقبولة فى المباني العامة - المصالح الحكومية ، المدارس ... - قد لا تكون مقبولة فى المساكن الخاصة ، والشروخ التى يسمح بها فى المباني السكنية تصبح غير مقبولة فى حالة الخزانات ، والشروخ الخارجية - وخاصة إذا كان التشطيب خشنا - لا تلاحظ ولا يهتم بها مثل الشروخ الداخلية .

أ - أنواع الشروخ

يمكن تقسيم الشروخ إلى شروخ تظهر فى الخرسانة الطازجة وأخرى تظهر فى الخرسانة اللدنة ، أو إلى شروخ سببها قوى خارجية أو سببها مكونات الخرسانة نفسها وطبيعتها كمادة إنشائية ، أو تقسم حسب العوامل المؤدية إلى ظهورها وهى عوامل طبيعية أو كيميائية أو حرارية أو غيرها .

وشكل (١/٤) يوضح أنواع الشروخ حسب سبب ظهورها ، وقد تم تقسيم أنواع شروخ الخرسانة فى هذا الشكل إلى مجموعتين : الأولى تظهر قبل تصلد الخرسانة وسميت شروخ الخرسانة اللدنة ، والثانية : تظهر فى الخرسانة بعد تصلدها ، وقسمت المجموعة الثانية إلى شروخ غير إنشائية نتيجة عوامل طبيعية أو كيميائية أو حرارية ، وشروخ إنشائية نتيجة قصور التصميم أو التحميل الزائد أو الزحف أو فروق الهبوط أو سوء التنفيذ .

شكل (١ / ٤) أنواع شروح الخرسانة



ب - أسباب ظهور الشروخ

١ - شروخ الخرسانة اللدنة

١/١ - شروخ انكماش الخرسانة اللدنة plastic shrinkage cracks :

الوصف :

تتشرخ الخرسانة اللدنة نتيجة الانكماش ، ويحدث ذلك عادة على الأسطح المعرضة للجو مثل البلاطات والأعضاء الخرسانية ذات المساحة السطحية الكبيرة بعد صب الخرسانة وعند تعرضها لنقص سريع في الرطوبة بسبب انخفاض رطوبة الجو أو سرعة الرياح أو ارتفاع درجة الحرارة . وهذه الشروخ تحدث غالبا خلال بضعة ساعات من صب الخرسانة رغم أنها لا تلاحظ عادة إلا في اليوم التالي للصب أو الأيام التالية ، ويجب تفرقة هذه الشروخ عن شروخ الانكماش طويلة المدى نتيجة جفاف الخرسانة المتصلدة (long - term drying shrinkage cracks)

ويأخذ تشرخ الخرسانة اللدنة نتيجة الانكماش عادة إحدى صور ثلاث : (١٩)

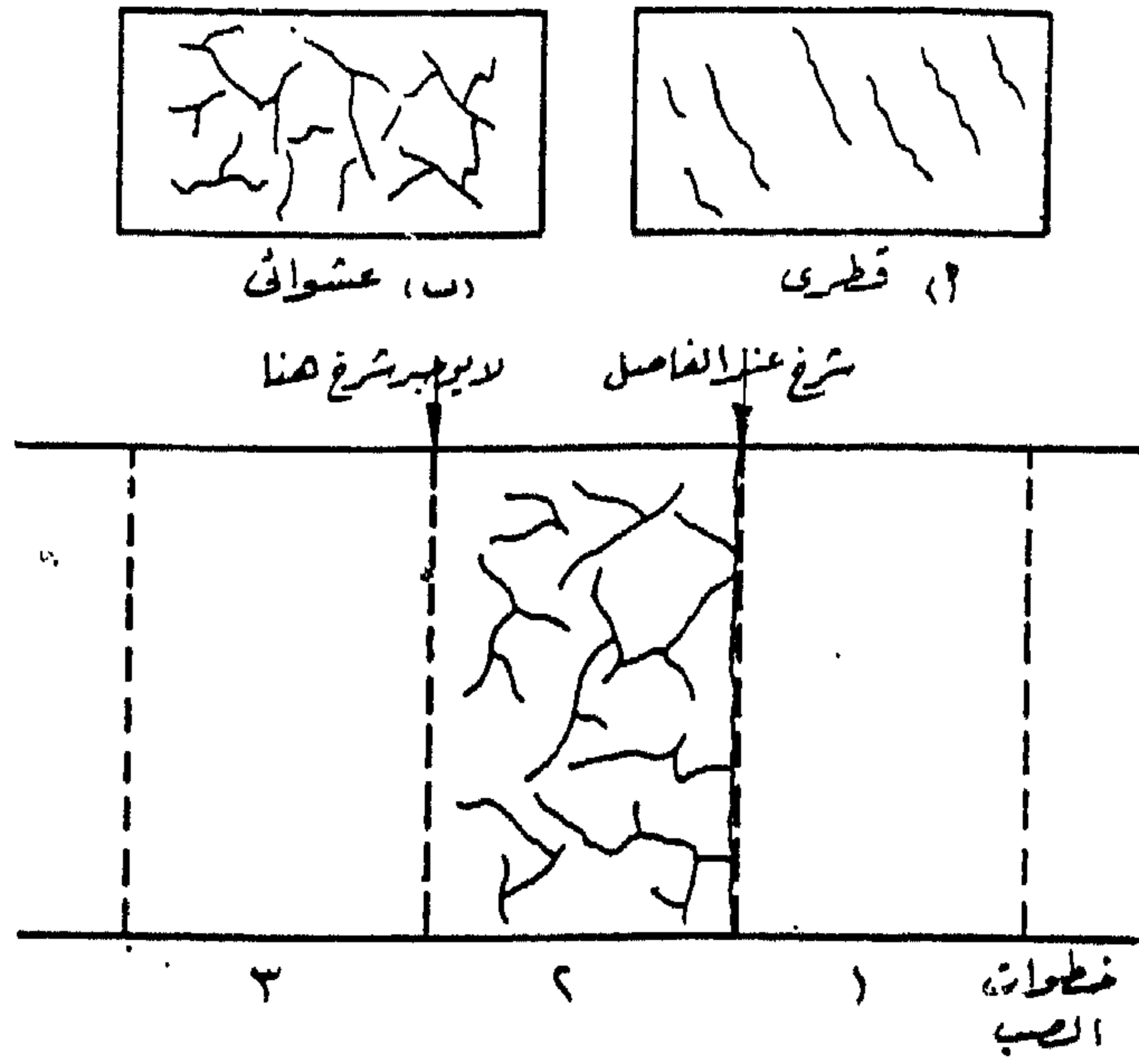
أ - شروخ قطرية مائلة بالنسبة لحروف البلاطة على زاوية ٤٥° تقريبا - (شكل ٤ / ٢ - أ) - وتكون المسافات بين هذه الشروخ من ٢٠ سم إلى ٢ م .

ب - شروخ موزعة توزيعا غير منتظم - (شكل ٤ / ٢ - ب) .

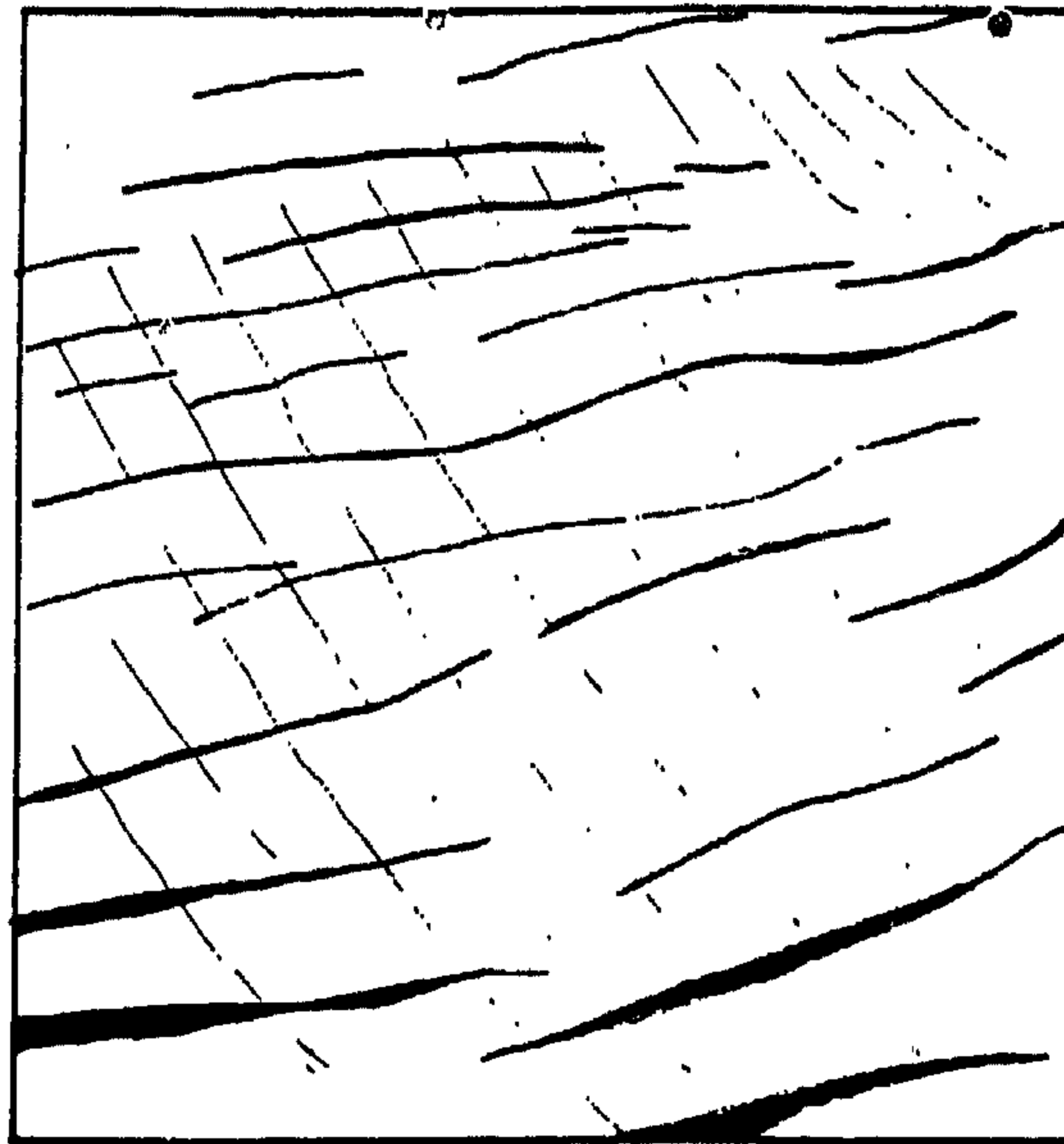
ج - شروخ تتبع شكل توزيع حديد التسليح أو بعض الخصائص الطبيعية الأخرى مثل التغير في عمق القطاع الخرساني .

ورغم أن هذه الشروخ تكون متسعة نسبيا عند السطح - من ٢ إلى ٣ مم - إلا أنها تضيق وتتلاشى سريعا مع العمق .

ومن ضمن ما يميز شروخ انكماش الخرسانة اللدنة أنها نادرا ما تصل إلى الحواف الحرة للبلاطات - مثل حروف بلاطات الطرق الخرسانية - لأنها حرة الحركة ، وهذه الخاصية هامة في تفرقتها عن شروخ الانكماش طويلة المدى إذا كان وقت تكون الشروخ غير معلوم .



ج. في باكية مقيدة الحركة



د. الشروح القطرية في بلاطات الطرق

شكل (٢ / ٤) شروح انكماش الخرسانة اللدنة

الأسباب :

عندما يتبخر الماء من سطح الخرسانة حديثة الصب بأسرع من معدل تعويضه نتيجة الإدماء - نزوح الماء إلى سطح الخرسانة - فإن الخرسانة السطحية تبدأ في الانكماش (١) . ونظرا للقيد الداخلي على الحركة نتيجة عدم انكماش الخرسانة أسفل الطبقة السطحية تبدأ إجهادات الشد في الزيادة في الخرسانة الضعيفة التي لم تتصلد بعد ، وينتج عنها شروخ قصيرة تمتد في كل الاتجاهات . وقد ذكر تقرير المعهد الأمريكي للخرسانة (A C I) أنه عند صب الخرسانة في الأجواء الحارة فإن هذه الشروخ محتملة الحدوث إذا زاد معدل البخر من سطح الخرسانة عن كجم واحد / م^٢ في الساعة (٢) .

ويوضح الشكل (٤ / ٣) انكماش الخرسانة اللدنة مع الوقت ، ويلاحظ من هذا الشكل كيف أن الانكماش يزداد بسرعة قرب نهاية الإدماء مما يؤكد التوضيح المذكور أعلاه عن أسباب شروخ الانكماش ، وبمقارنة قدرة الخرسانة على الإنفعال للشد بانفعال الانكماش يتضح أن وقت حدوث أقصى انفعال نتيجة للانكماش - مدة ١٠ ساعات بعد الصب - يتزامن مع وقت نقص قدرة الخرسانة على الانفعال للشد إلى الحد الأدنى - من ٦ إلى ١٠ ساعات - مما يؤدي إلى تشريحها .

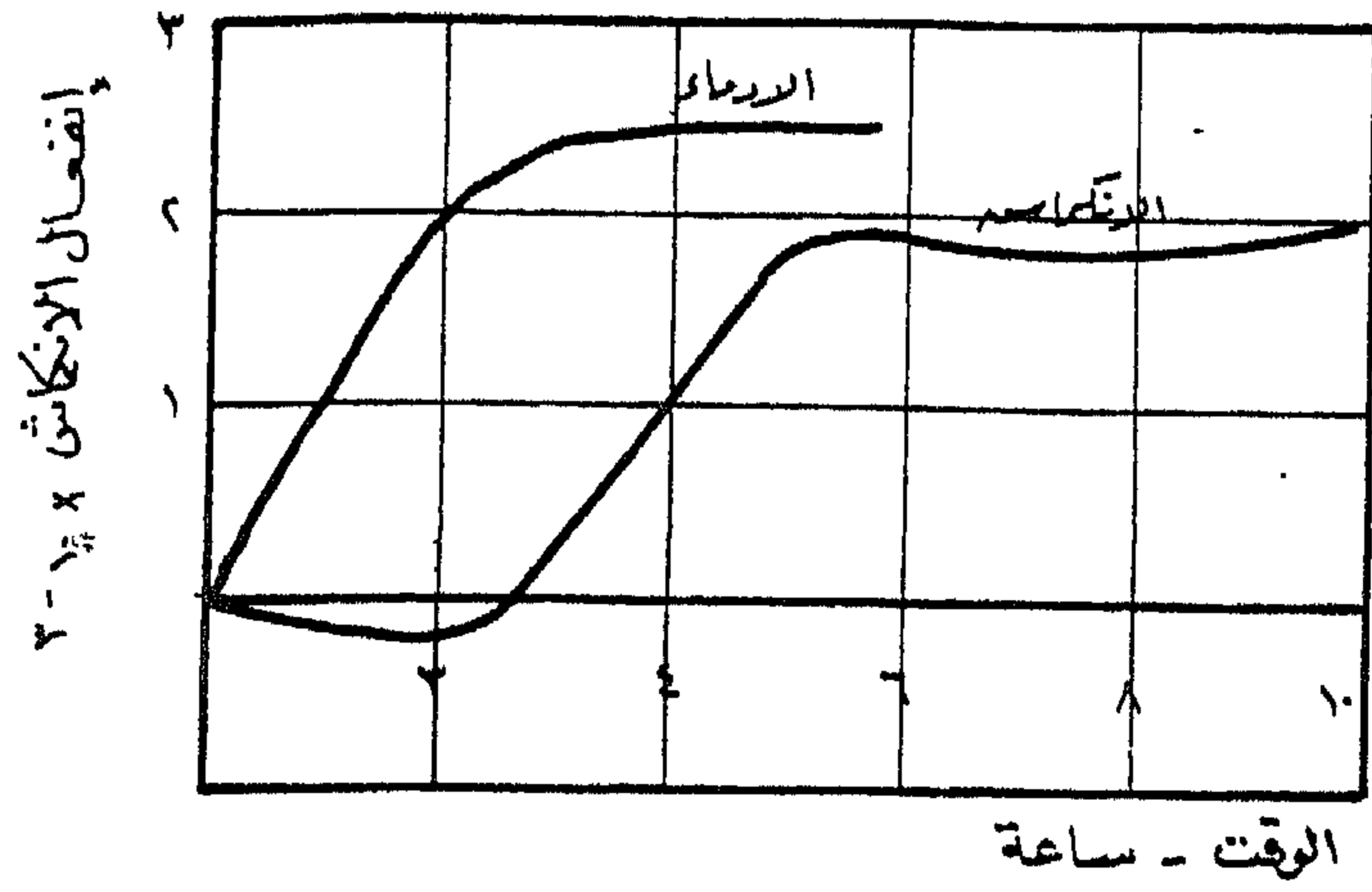
أسباب ثانوية :

يمكن أن يحدث انفعال شد عند انخفاض درجة حرارة الجو المحيط بالخرسانة فجأة ، كما أنه يمكن أن يحدث نتيجة التقلص المصاحب لبدء التفاعل بين الأسمنت والماء . وإن كان هذين السببين عموما غير كافيين لإحداث شروخ عميقة ، ولكنهما يمكن أن يساعدا على زيادة اتساع شروخ الانكماش الناشئة أساسا نتيجة تبخر الماء وجفاف الخرسانة ، كما أن استعمال مؤخرات الشك سيؤدي في أغلب الأحوال إلى زيادة احتمال حدوث شروخ انكماش في الخرسانة اللدنة (٤) .

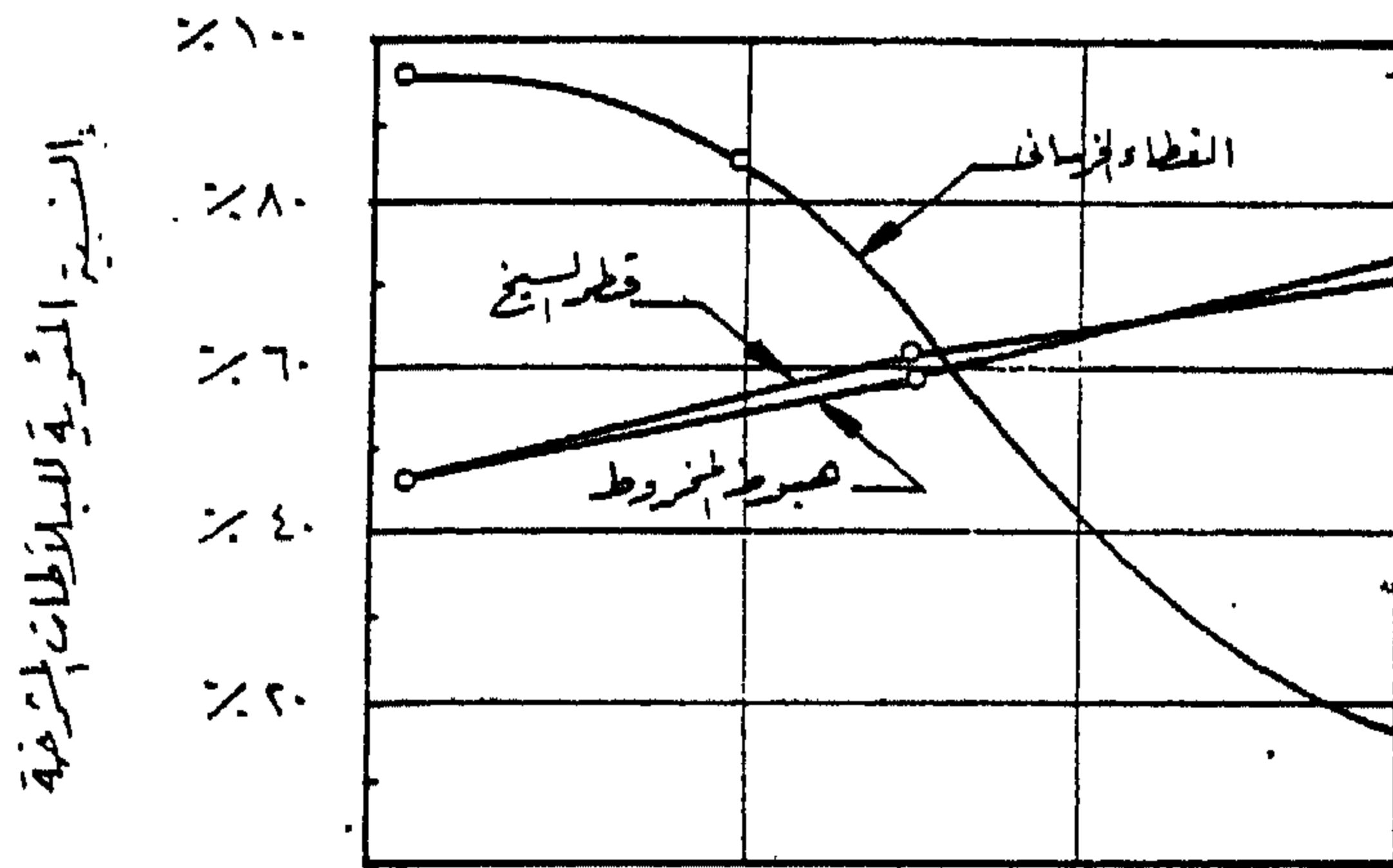
١ / ٢ - شروخ هبوط الخرسانة اللدنة plastic settlement cracks :

الوصف :

بعد الصب والهز وتسوية السطح فإن الخرسانة تستمر في التضاضط (consolidation) ، وفي فترة التضاضط هذه فإنه يمكن أن يكون هناك قيد موضعي على حركة الخرسانة متمثلا في صلب التسليح أو خرسانة سابقة متصلة أو الشدة نفسها ، وهذا القيد على



شكل (٣ / ٤) الإدماء والانكماش للخرسانة في العمر المبكر (مرجع ٣)



الغطاء الخرساني	١,٩	٢,٥	٣,٨	٥
قطر السيخ	١٢	١٦	١٩	٣١
هبوط الخرسانة	٥	٧,٥	١٠	١٠

شكل (٥ / ٤) هبوط الخرسانة اللدنة وعلاقتها بالغطاء الخرساني

وقطر السيخ و هبوط الخرسانة (مرجع ٥)

الحركة قد يؤدي إلى حدوث فجوات أو شروخ مجاورة للجزء المتسبب في تقييد الحركة .

الأسباب (أنواع شروخ الهبوط) :

القيود على الحركة هو الذي يحدد نوع شروخ الهبوط كما يلي :

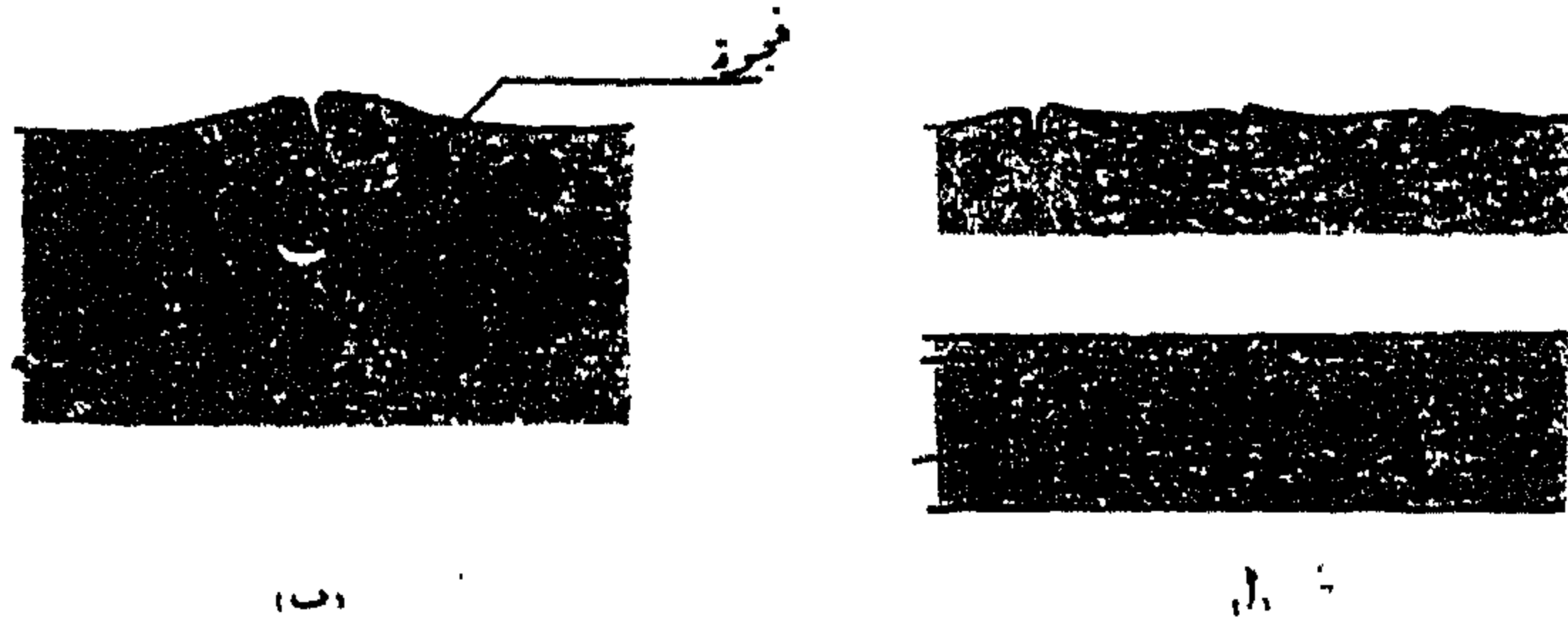
١ - شروخ تظهر فوق صلب التسليح العلوى مباشرة أو فوق مسامير رباط الشدة الموجودة تحت سطح الخرسانة مباشرة - شكل (٤ / ٤ - أ ، ب) .

٢ - شروخ تظهر فوق الصلب العلوى فى حالة البلاطات والجسور العميقة شكل ٤ / ٤ - ج .

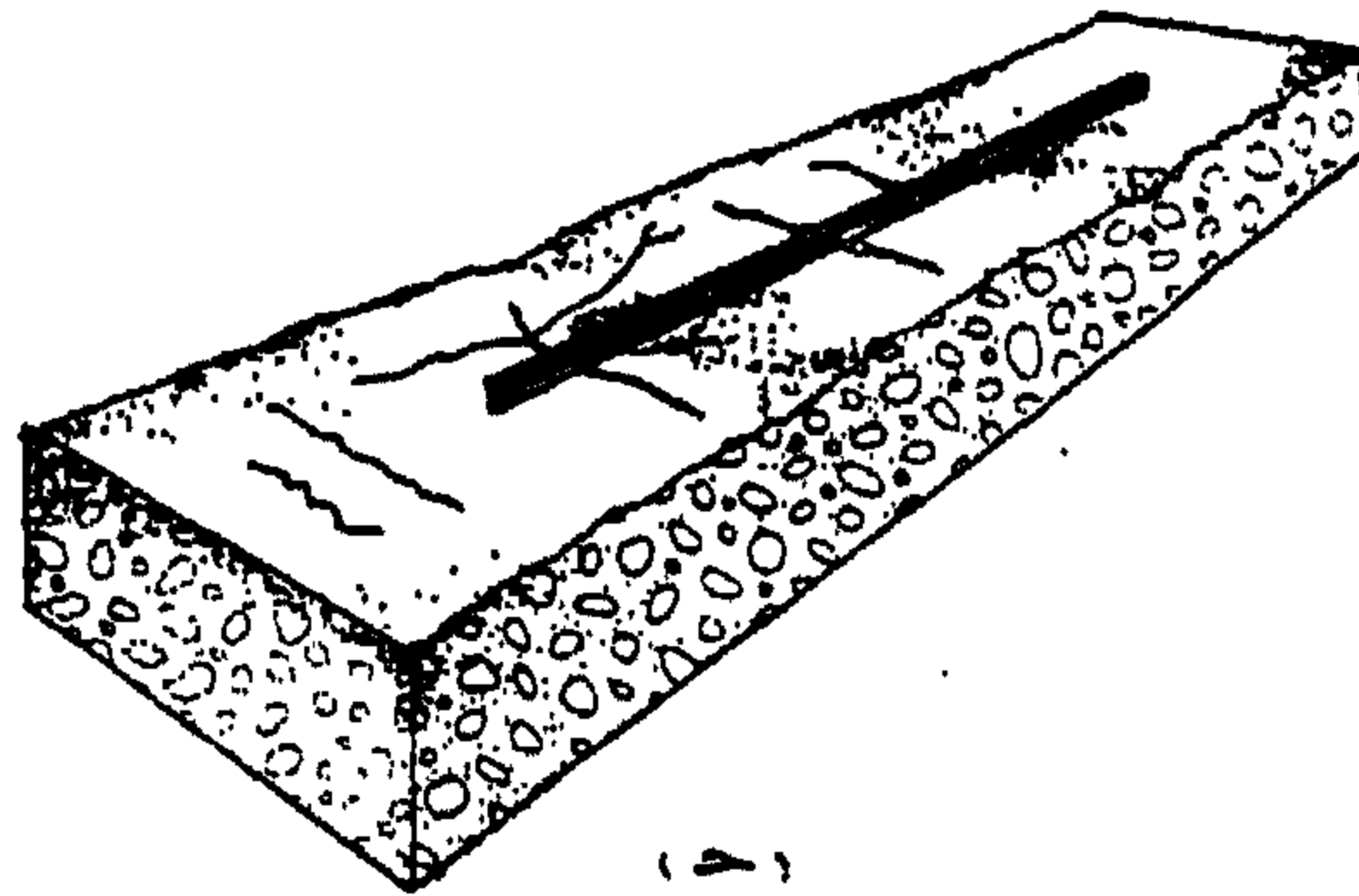
٣ - شروخ تظهر فى الأعمدة والحوائط النحيفة ، بحيث يمنع هبوط الخرسانة استنادها على الجوانب بفعل تكون عقود من الخرسانة أثناء هبوطها أو بسبب وجود رأس مخروطية للعامود ، مما يساعد أيضا فى هذا الصدد كثرة الكانات الأفقية فى الأعمدة والحوائط الضيقة - شكل (٤ / ٤ - د) .

٤ - شروخ تظهر عند تغير عمق القطاع وخاصة فى الأسقف ذات الأعصاب - شكل (٤ / ٤ - هـ) .

وبين هذه الأشكال من الشروخ نجد أن أكثرها أهمية وحدوثها هو النوع الذى يمكن وصفه بأن الخرسانة (ينكسر ظهرها) فوق حديد التسليح العلوى فى الأعضاء العميقة - شكل (٤ / ٤ - هـ) - إذا كان الغطاء الخرسانى قليلا - ٢ سم مثلا أو أقل - فإن هذا النوع من الشروخ سيظهر بعد ١٠ - ٢٠ دقيقة فقط من دمك الخرسانة ، أما إذا زاد الغطاء الخرسانى عن ذلك فإن ظهور الشروخ سيتأخر واحتمال ظهورها سيقبل بدرجة ملحوظة ، فاحتمال ظهور شروخ هبوط الخرسانة اللدنة يزيد بزيادة قطر السيخ ولدونة الخرسانة (مقاسة من هبوط المخروط Slump) ويقل بزيادة الغطاء الخرسانى - كما هو مبين بشكل (٤ / ٥) مرجع (٥) .



هبوط لزمه بسبب إعاقة إنشاج للمركبة

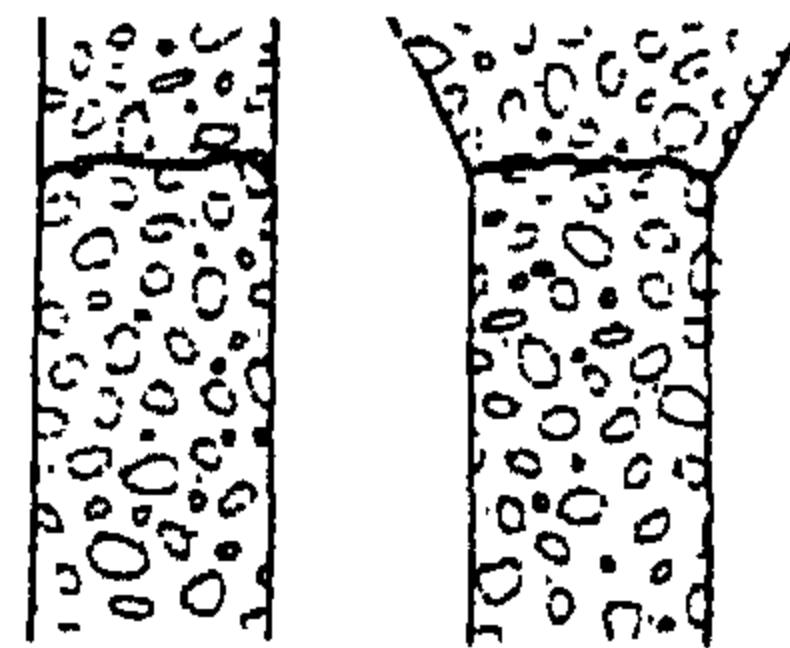


هبوط في الجسر العميق



(هـ)

هبوط لزمه عند تغيير الارتفاع



(د)

هبوط لزمه في الأعمدة الخشبية والأعمدة الخفيفة

شكل (٤ / ٤) شروخ هبوط الخرسانة اللدنة (١٩)

١ / ٣ - التحرك أثناء التنفيذ :

١ / ٣ / ١ - تحرك الشدة :

عدم كفاية ركائز الشدة الخرسانية قد يؤدي إلى تشرخ الخرسانة اللدنة ، حيث إن حدوث هبوط لتلك الركائز يسبب إجهادات في الخرسانة قبل أن تصل مقاومتها إلى الحد الذي يمكنها من تحمل وزنها على الأقل ، وأسباب هبوط الشدة الخشبية - أو المعدنية - وأحيانا انهيارها ، يمكن أن تكون :

أ - قصور في تصميم الشدة أو في رسوماتها التنفيذية - أو عدم عمل تصميم أصلا - بحيث تصبح الشدة غير متزنة .

ب - زيادة الأحمال أثناء التنفيذ - سوء وضع المعدات أو تشوين المواد - عن الأحمال التي تستطيع الشدة تحملها .

ج - سوء تنفيذ وتجميع وتثبيت مكونات الشدة .

د - سرعة إزالة الدعامات قبل نضج الخرسانة .

هـ - سوء الأحوال الجوية مثل المطر الشديد أو الرياح العاصفة .

والشدة قد تكون غير متزنة نتيجة عدم تدعيم القوائم الرأسية أفقيا وعرضيا بدعامات أفقية (براندات) ومائلة (شكالات) في الاتجاهين - شكل (٤ / ٦ - أ ، ج) - فعدم وجود دعامات أفقية ومائلة يجعل الشدة غير مقاومة للأحمال العرضية أثناء التنفيذ ، وقد تصبح غير متزنة نتيجة انبعاج القوائم الرأسية لضعف قطاعها العرضي ، وهنا لابد من أخذ ارتفاع السقف والأحمال في الاعتبار عند اختيار قطاع القوائم الرأسية والمسافات بينها ، وقد تصبح غير متزنة عند وصل القوائم الرأسية - في حالة الأسقف المرتفعة - بدون وجود تدعيم أفقي كاف .

وسوء التنفيذ يشمل ضعف الوصلات وعدم الوصل السليم للقوائم - في الأسقف المرتفعة - وعدم وضع فرشاة خشبية أسفل القوائم عند ارتكازها على أرض رخوة وعدم كفاية ركائز القوائم في حالة الأحمال الثقيلة ، فالهبوط تحت قوائم الشدة يجب أن يكون أقل ما يمكن بما لا يتعارض مع اقتصاديات العمل .

ومن الضروري تصميم الشدة وتركيبها وتدعيمها وصيانتها بحيث يمكنها تحمل جميع

الأحمال الرأسية والأفقية التي ستظهر أثناء وبعد الصب بأمان ، فعدم تدعيم جوانب الكمرة الطرفية (تدميمها) كما فى شكل - (٤ / ٦ - ب) - يؤدي إلى حركتها أثناء الصب وظهور شروخ بجوار جانب الكمرة - شكل (٤ / ٧) - كما أن عدم كفاية الأربطة الأفقية أو سوء تنفيذها المؤدى إلى انهيار أحدها قد يؤدي إلى شروخ طولية - شكل (٤ / ٧) - وكذلك يجب تصميم الشدة المعدنية وتركيبها بحيث يمكن عمل ضبط رأسى لقوائمها ليعادل الهبوط فى شدة السقف بعد صب الخرسانة .

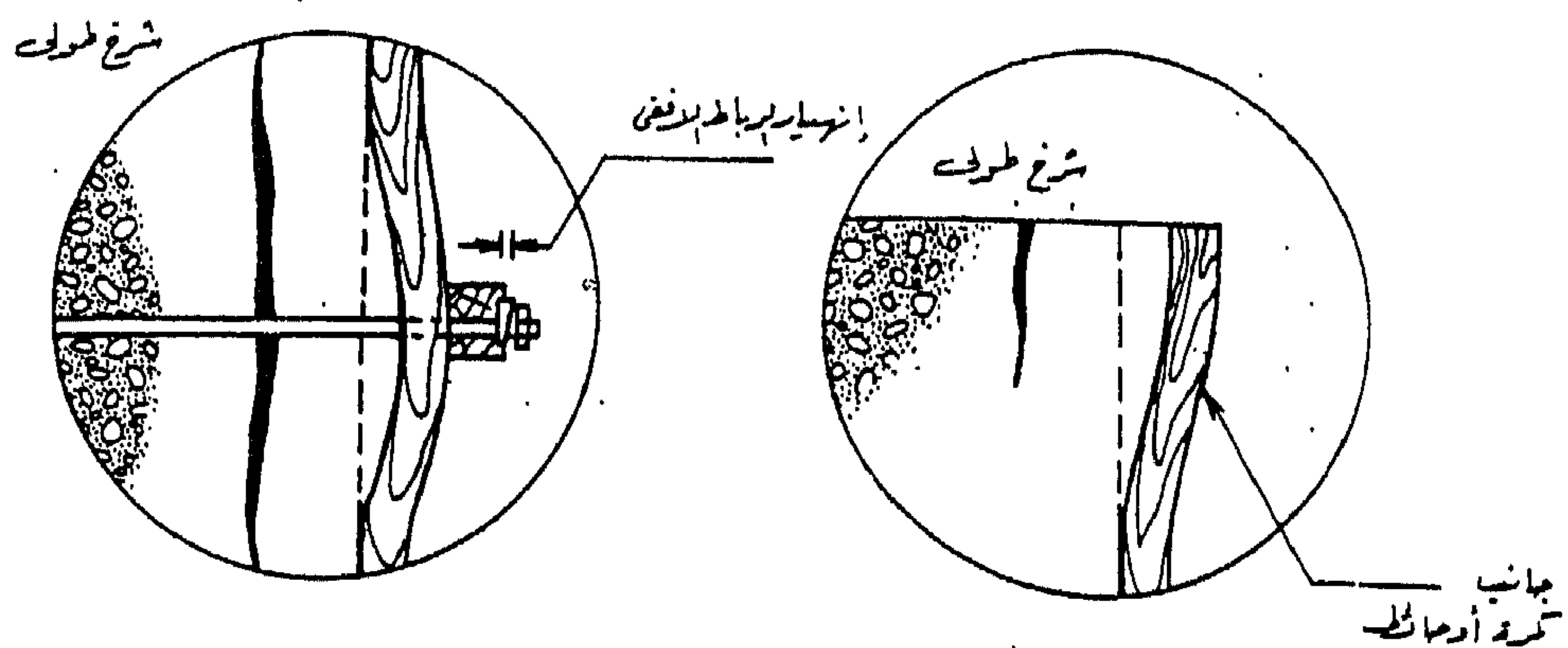
وقد تقتضى سرعة العمل فك الدعامات الرأسية بعد يوم أو يومين ولكن يجب التأكد من أن الخرسانة قد تصلدت ووصلت مقاومتها إلى قيمة كافية لمنع حدوث شروخ الهبوط اللدن بها نتيجة تحرك الشدة بعد فك الدعامات ، واستعمال الخرسانة سريعة التصلد أو استعمال الإضافات يساعد فى هذه الحالة .

١ / ٣ / ٢ - تحرك الأرض :

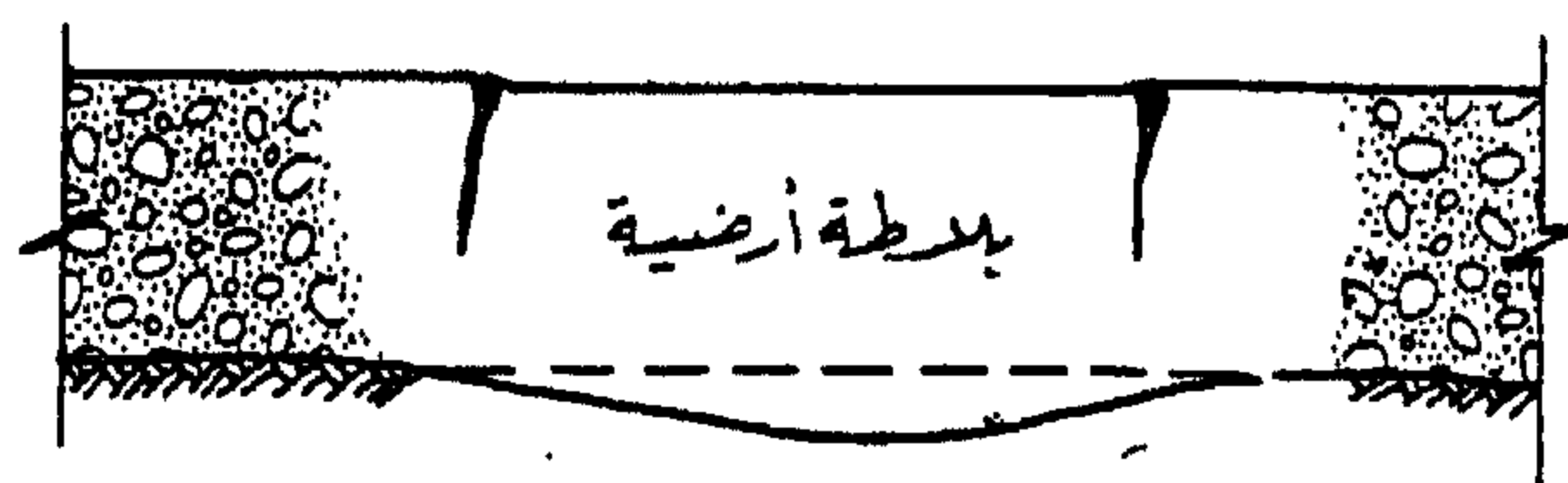
أى حركة فى الأرض تحت الشدة سينتج عنها هبوط وتشرخ للخرسانة حديثة الصب التى لا يمكنها مقاومة إجهادات الشد المتولدة ، ويجب تزويد الشدة بأساسات سليمة تبدأ من الألواح الخشبية ، وتصل إلى الخوازيق فى حالة الأرض الضعيفة أو الأحمال العالية .

وإذا كانت التربة تحت أساسات الشدة ستهبط هبوطاً غير مقبول عند تعرضها للأحمال الاستكآتية والديناميكية المصاحبة لصب الخرسانة ، فلا بد من استعمال وسائل ، منها : وسائل تثبيت التربة أو أية وسائل أخرى لتقليل هذا الهبوط ، وفى هذا الصدد لا ينصح بصب الخرسانة على شدة مرتكزة على تربة متجمدة - فى المناطق شديدة البرودة لأن التجمد قد يزول قبل صب الخرسانة أو بعده مباشرة .

وفى حالة بلاطات الأرضية - إذا كانت هناك مناطق من التربة مفككة أو طرية - فيمكن أن يحدث هبوط لها نتيجة وزن الخرسانة ، مما يؤدي إلى شروخ طولية - شكل (٤ / ٨) .



شكل (٧ / ٤) شروخ تحرك الشدة



شكل (٨ / ٤) شروخ هبوط الأرض

٢ - شروخ الخرسانة المتصلدة

٢ / ١ - شروخ طبيعية :

٢ / ١ / ١ - ركام قابل للانكماش Shrinkable Aggregate :

الوصف والأسباب :

بعض الخرسانات المصنوعة من أنواع معينة من الركام الموجود باسكتلندا لها معدل انكماش أعلى من ذلك الخاص بالخرسانة المصنوعة من ركام عادي^(٧) ، ولا تعمل هذه الأنواع من الركام على زيادة انكماش الخرسانة عند جفافها فقط وإنما تؤدي إلى ترخيم زائد في مواسم الجفاف كما تؤدي إلى نقص عمر أجزاء المنشأ المعرضة للجو .

٢ / ١ / ٢ - شروخ الانكماش طويل المدى عندما تجف الخرسانة

Long - term Drying Shrinkage Cracks :

الوصف :

الانكماش عندما تجف الخرسانة هو نقص حجم الخرسانة نتيجة الفقد الكيميائي أو الطبيعي للماء أثناء تصلد الخرسانة عند تعرضها للهواء غير المشبع بالماء ، وهذا الانكماش هو خاصية مميزة للخرسانة أثناء جفافها - انظر قسم ٢ / ٢ من الباب الثالث - ولو تم هذا الانكماش بدون قيد على الحركة لما حدث أى تشرخ ، وعلى ذلك فإن الانكماش والقيود على الحركة معا لازمين لتولد إجهادات الشد ، والقيود على الحركة قد يكون بسبب أجزاء أخرى من المنشأ أو بسبب خارجي - كتأثير الأرض بالنسبة لبلاطات الأرضية - وتبدأ الشروخ عندما تزيد إجهادات الشد عن مقاومة الخرسانة للشد ، ولكنها من الممكن أن تتسع وتزداد عند إجهادات أقل من تلك اللازمة لبداية التشرخ .

وفي الخرسانة الكتلية أو الأعضاء السميكة تتولد إجهادات الشد نتيجة فرق الانكماش بين الخرسانة عند السطح وتلك الموجودة بالداخل ، فالانكماش أكبر عند السطح ، وهذا يؤدي إلى تولد شروخ سطحية يمكنها مع الوقت التوغل في عمق الخرسانة ، وقيمة إجهاد الشد المؤدى إلى التشرخ يعتمد على عدة عوامل منها : مقدار الانكماش ، ودرجة القيد على الحركة ، و معايير المرونة ، ومقدار الزحف .

وقد يخلط المرء بين الشروخ المتولدة من أسباب أخرى - وخاصة التقلص المبكر

نتيجة انخفاض الحرارة - وبين شروخ الانكماش عندما تجف الخرسانة ، وفي الغالب فإن الشروخ التي يسببها انكماش الخرسانة أقل كثيرا من المتوقع أو المفترض ، فالانفعال الناشئ عن التقلص المبكر نتيجة انخفاض درجة الحرارة يزيد كثيرا عن الانفعال الناتج عن الانكماش ، كما أن هذا الأخير يحدث بمعدل بطيء جدا في الأعضاء الخرسانية كاملة الحجم ، وعلى ذلك فإن الاسترخاء في إجهادات الشد نتيجة الزحف يكون أكثر فاعلية في تقليل احتمالات شروخ الانكماش ، ولو أن تسليحا كافيا وعددا مناسباً من الوصلات تم وضعه حسب المواصفات لمنع الأسباب الأخرى للتشقق ، فإن تأثير شروخ الانكماش نتيجة الجفاف سيصبح صغيرا لدرجة أنها تصبح غير ذات شأن .

الأسباب :

أ - عوامل تؤثر على الانكماش نفسه :

كل مكونات الخلطة الخرسانية تؤثر على الانكماش سواء بطريقة فردية أو نتيجة لها جميعا ، وانكماش خلطة معينة يتأثر أيضا بعوامل إضافية مثل درجات الحرارة التي سبق للخرسانة التعرض لها وطرق المعالجة والرطوبة ونسبة الحجم إلى المسطح المعرض للهواء .

١ - تأثير مكونات الخلطة :

أ - الماء : يحدث الانكماش أصلا عندما تجف الخرسانة نتيجة فقد الماء للجو المحيط أثناء التصلد ، وكلما زاد الماء المتاح للتبخر كلما زادت إمكانية الانكماش أثناء الجفاف - شكل (٩ / ٤) - وعلى ذلك فكمية الماء في الخلطة - وليس نسبة الماء إلى الأسمنت - لها أكبر تأثير على انكماش الخرسانة .

ب - الأسمنت : ترجع أهمية الأسمنت فقط إلى أن كميته تؤثر على كمية الماء في خلطة ما ، وعلى عكس ما هو متوقع فإن درجة نعومة الأسمنت ليس لها تأثير على شروخ الانكماش (٩) .

ج - الركام : كلما زادت كمية الركام في خلطة ما كلما زاد تأثير الركام على تقليل الانكماش الكبير لمونة الأسمنت ، ويعطى شكل (١٠ / ٤) فكرة عن مدى تأثير محتوى الركام على انكماش الخرسانة بالمقارنة بانكماش المونة ، كما أن استعمال ركام ذي مساحة سطحية أقل ما يمكن يساعد على تقليل محتوى الماء وبالتالي يعمل على تقليل انكماش الخرسانة .

٢ - تأثير نسبة الرطوبة :

كلما قلت نسبة الرطوبة كلما زاد معدل وكمية الفاقد من الماء من سطح الخرسانة ، وعمليا يصعب التحكم في نسبة رطوبة الجو المحيط عند صب الخرسانة بالموقع .

٣ - معالجة الخرسانة :

تلعب معالجة الخرسانة أحيانا دورا مزدوجا إذ أنها تعمل على تقليل الفاقد الحرارى وبالتالي تقلل فروق الحرارة فى الأعضاء الضخمة ، كما أنها تقلل فى نفس الوقت الفاقد فى ماء الخرسانة ، والاعتقاد السائد بين المهندسين أن الهدف الرئيسى من معالجة الخرسانة هو تقليل انكماشها ، ولكن هذا غير صحيح ، فالعضو الخرساني سينكمش عند جفافه بنفس الدرجة مهما كان وقت بداية وطول مدة المعالجة ، ولكن تأثير معالجة الخرسانة المفيد هو زيادة قدرة الخرسانة على الإنفعال للشد - انظر قسم ٣ / ١ / ٢ من الباب الثالث - ولهذا السبب وحده ، فإن المعالجة السليمة تقلل من احتمالات التشرخ .

٤ - حجم وشكل العضو :

معدل فقد الرطوبة يقل بسرعة مع زيادة المسافة من السطح ، ويستطيع العضو الضخم السميك الاحتفاظ بكمية من الماء أكبر من تلك التى تستطيع الاحتفاظ بها بلاطة رقيقة .

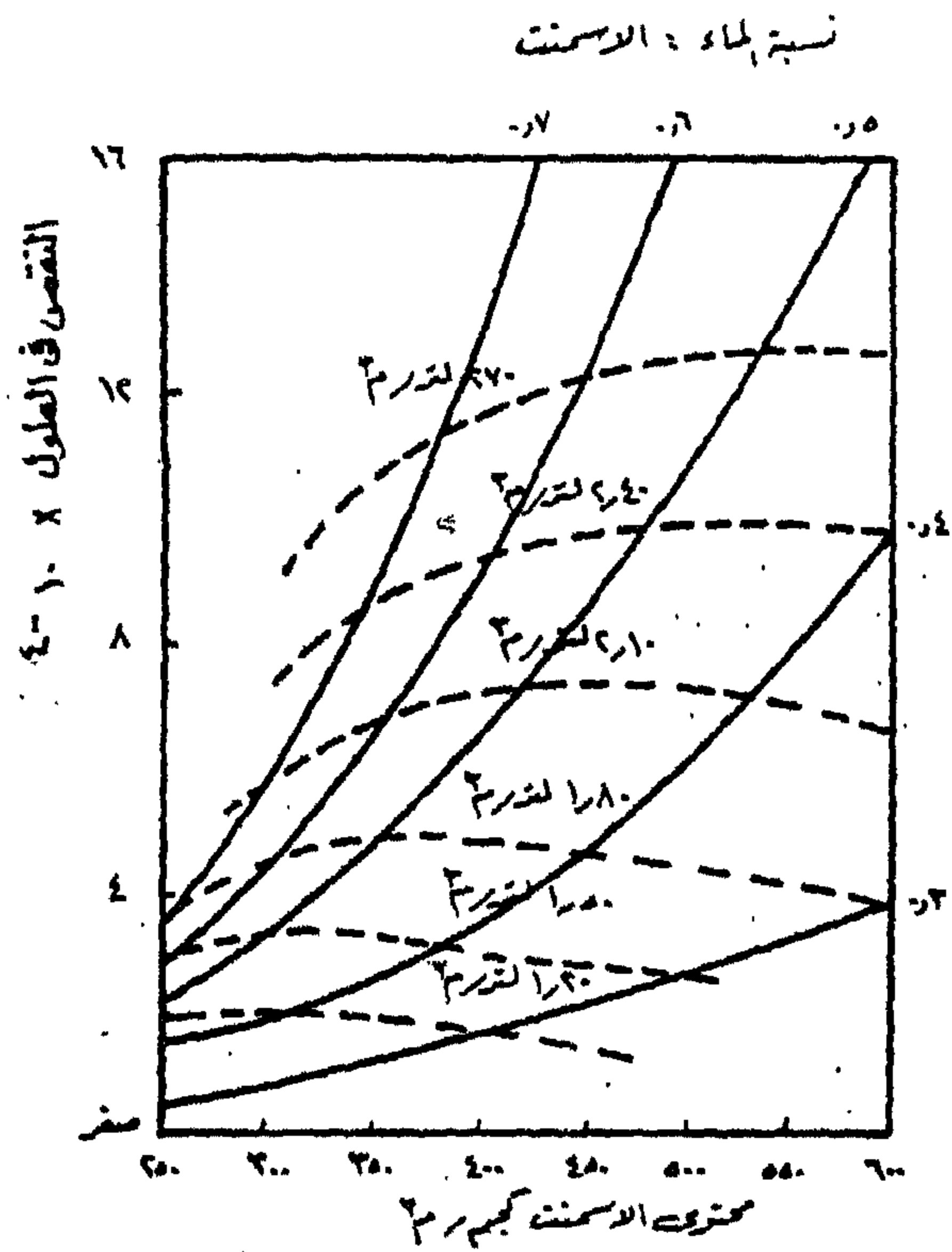
ب - عوامل تؤثر على شروخ الانكماش :

١ - القيد على الحركة :

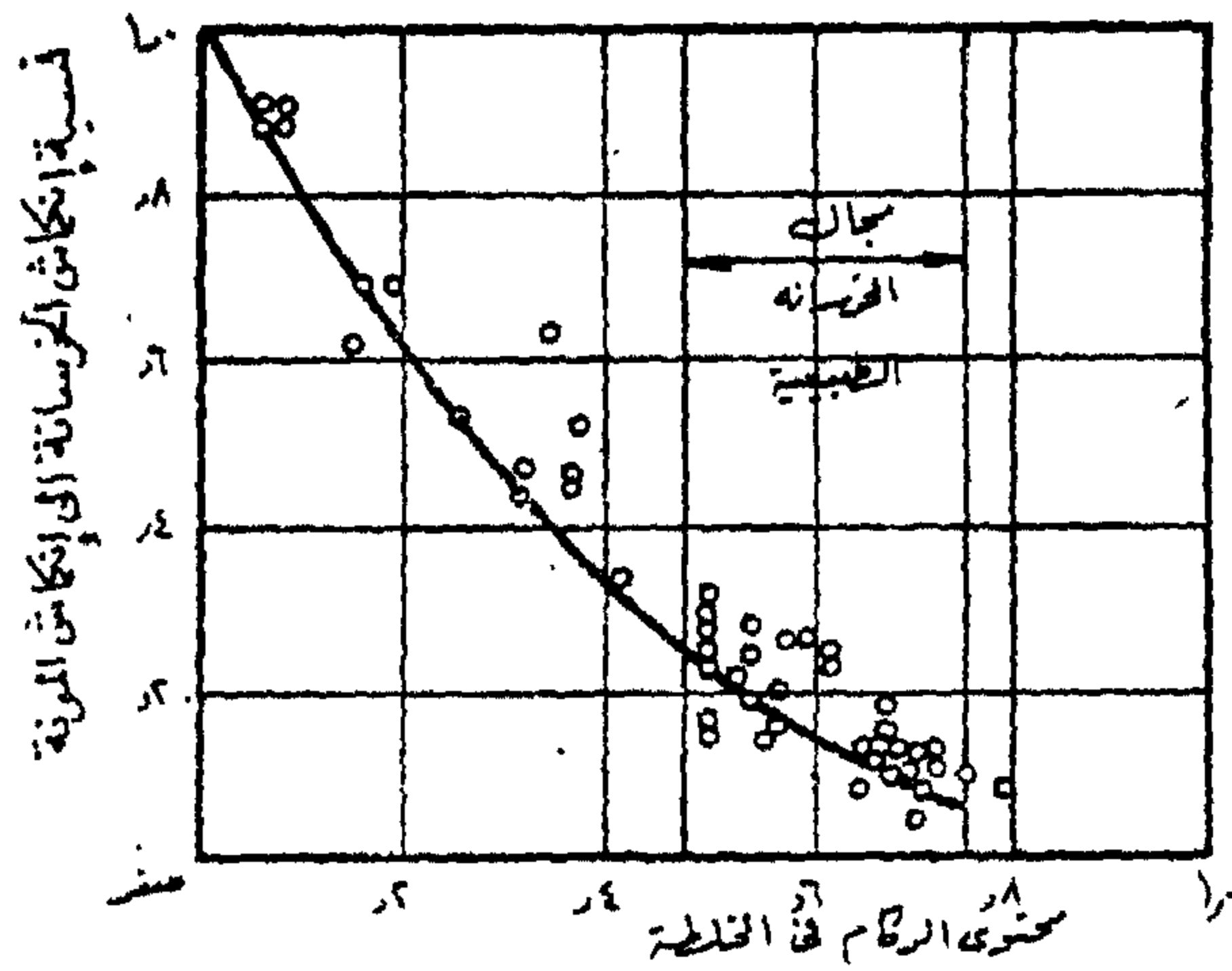
يمكن بوجه عام ، الحد من تأثير القيد الخارجى على الحركة عن طريق خطوات خاصة فى التصميم مثل عمل الدعامات المنزلقة (slip abutments) ، أو عمل الركائز المناسبة أو عمل وصلات التمدد والانكماش الكافية ، ولكن القيد الداخلى على الحركة يصعب تجنبه ، وإنما يمكن تقليل تأثيره عن طريق العناية بالتصميم ، والأمثلة الواضحة لحدوث قيد داخلى على الحركة هى :

أ - الخرسانة الكتلية المصبوبة ميليثيا مثل الركائز الخرسانية للكبارى Bridge Abutments والسدود .

ب - بلاطات الطرق والأرضيات التى لا تستطيع فقد الماء من سطحها السفلى .



شكل (٩ / ٤) الانكماش نتيجة الجفاف للخرسانة بعد ٦ شهور
(٧ أيام في الماء ثم معالجة في الهواء) (٨)



شكل (١٠ / ٤) تأثير محتوى الركام على الانكماش
نتيجة الجفاف للخرسانة (مرجع ١٠)

٢ - القدرة على الانفعال للشد :

سبق مناقشة أسس حدوث شروخ عندما يتعدى انفعال الخرسانة قدرتها على الانفعال للشد - فى قسم (٣ / ١ / ٢) من الباب الثالث - وهذه القدرة على الانفعال حساسة جدا لمعدل حدوث هذا الانفعال ، وذلك لأنه عند حدوث انفعال بمعدل سريع فإن الاسترخاء نتيجة الزحف لن يؤدي دوره ، وقد وجد أن قدرة بعض العينات المحملة ببطء على الانفعال تصل إلى ضعف قدرتها على الانفعال إذا كان التحميل سريعا ، ولما كان الانكماش طويل المدى نتيجة الجفاف عملية بطيئة للغاية - إلا فى حالة البلاطات الرفيعة المعرضة للجو الجاف - فإن ذلك يفسر سبب كونها ليست سببا رئيسيا للتشريح على عكس الاعتقاد السائد . ويمكن زيادة قدرة الخرسانة على الانفعال بزيادة محتوى الأسمنت بالخلطة ولكن فى هذه الحالة ستحتاج الخلطة إلى ماء أكثر وسيسبب ذلك انكماشاً أكبر ، ولذلك فإن أحسن عامل - وقد يكون الوحيد - الذى يمكن التحكم فيه عمليا هو محتوى الماء فى الخلطة الذى يجب أن يكون أقل ما يمكن .

٣ - تزويد المنشأ بالوصلات والحديد للحد من الشروخ :

إن حديد الانكماش لا يمنع تكون الشروخ وإنما يتحكم فى اتساعها فقط ، وهذا التحكم دالة مباشرة فى الغطاء الخرساني ، ولذا فإن تسليح التحكم فى الشروخ لابد من وضعه أقرب ما يمكن إلى السطح - أى قرب سطح البلاطة العلوى وليس قرب القاع أو خارج حديد التسليح الرئيسى فى الأعضاء الإنشائية - ولابد من ربط كمية صلب التسليح اللازم للتحكم فى الشروخ بعدد وتوزيع الوصلات التى تسمح بالحركة ، وهذا المبدأ مهم جدا فى تصميم البلاطات وقد أعطت المراجع (١١) و (١٢) توصيات لتفاصيل تصميم البلاطات الخرسانية للتحكم فى الشروخ .

أما فى القطاعات السميكة فإن التقلص المبكر نتيجة انخفاض الحرارة هو السبب الأكثر احتمالا فى حدوث الشروخ وليس الانكماش نتيجة الجفاف ، وعموما يمكن افتراض أنه لو زودت الأعضاء السميكة بحديد كاف للتحكم فى شروخ التقلص الحرارى المبكر ، فإن هذا الحديد سيكون كافيا فيما بعد للتحكم فى شروخ الانكماش طويل المدى نتيجة جفاف الخرسانة .

٤ - معالجة الخرسانة :

لابد من حماية الأعضاء ذات الأسطح المعرضة للجو مثل بلاطات الأسقف وبلاطات الأرضية بعد صب الخرسانة مباشرة وذلك للحد من مشاكل الحركة اللدنة أو الحركة نتيجة الحرارة في العمر المبكر Early Thermal Movements وكذلك لتحسين خواص الخرسانة المتصلدة وبخاصة تحمل الأسطح مع الزمن ، ومن هذا فإن تأثير معالجة الخرسانة على مقدار الانكماش الحادث نتيجة جفاف الخرسانة ضئيل ، ولكن حيث إن المعالجة ستؤدي إلى تحسن في عملية الإماهة Hydration كما ستؤدي إلى تحسين كل الخواص الميكانيكية للخرسانة - ومنها قدرة الخرسانة على الانفعال للشد - فإنه لذلك السبب فقط تساعد المعالجة على تقليل الشروخ الناجمة عن الانكماش نتيجة الجفاف .

٢ / ١ / ٣ - الشروخ السرطانية Crazing :

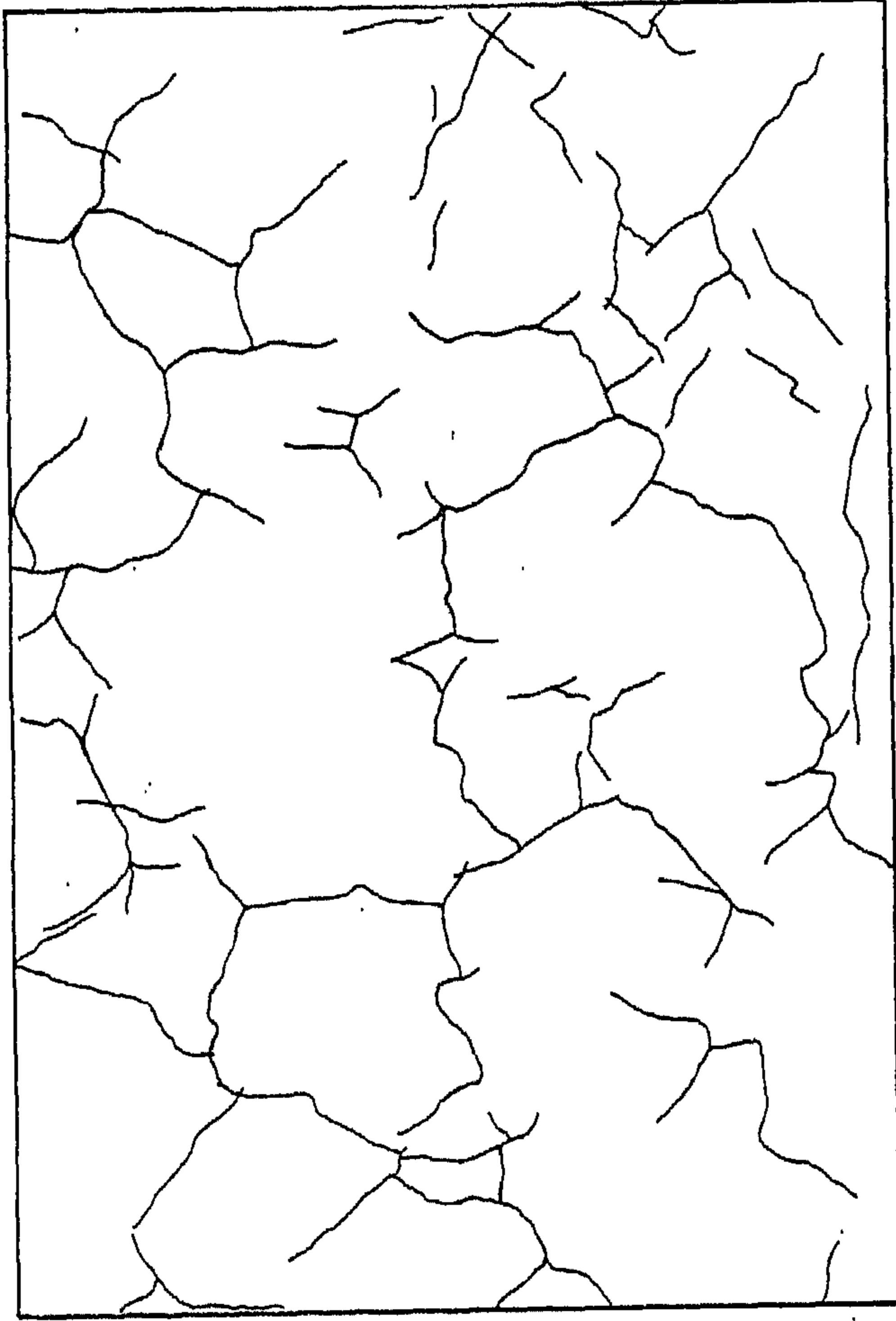
الوصف :

الشروخ السرطانية هي تشريح سطح الخرسانة إلى مساحات صغيرة ذات أشكال غير منتظمة - كما يظهر في شكل (٤ / ١١) (١٣) هذه الشروخ لا تؤثر على الأداء الإنشائي للخرسانة ولا تؤدي إلى تدهور تال في حالة الخرسانة ، ونادراً ما يزيد عمق هذه الشروخ عن مليمترات معدودة ، ويسببها انكماش الطبقة السطحية للخرسانة ، وهذه الشروخ التي من طبيعتها تشرخ السطح إلى مساحات غير منتظمة - عادة رباعية أو خماسية - على مسافات تتراوح بين (٦ - ٧٥ مم) يطلق عليها أحيانا الشروخ ذات الطابع المتشعب (Pattern cracks) وتحدث الشروخ السرطانية على :

أ - الأسطح المسوسة أو التي تمت تسويتها بالقدة الصلب .

ب - أسطح الخرسانة الظاهرة (Fair - face concrete) .

وبينما تعتبر أسباب الشروخ السرطانية في الحالتين (أ ، ب) متماثلة ، فإن نهو السطح والمعالجة مهمة في الحالة (أ) بينما الشدة المعدنية أو الخشبية هي العامل الأساسي في الحالة (ب) وقد تكون الشروخ السرطانية موجودة ولكنها غير مرئية حتى تمتلئ بالتراب فتظهر للرأى .



شكل (٤ / ١١) مثال (حجم طبيعي) للشروخ السرطانية في خرسانة مصبوبة
داخل شدة ملساء مصقولة

الأسباب (١٤) :

الشروخ السرطانية تحدث نتيجة لإجهادات الشد السطحية التي يسببها انكماش الأسطح بالنسبة لكتلة الخرسانة نتيجة لفروق الحركة التي سببتها الرطوبة ، وعلى ذلك فهذه الشروخ ليست مرتبطة بعمر معين للخرسانة وإنما تحدث وقتما تتعدى الظروف المحيطة حدوداً حرجية ، ولذا فطول وقت التعرض للعوامل الجوية غير ذى موضوع بالنسبة لحدوث الشروخ السرطانية إلا فى أنه يزيد من احتمال حدوث تعدد للحدود الحرجية ، وتحدث الشروخ السرطانية نتيجة لإجهادات يسببها أحد أو كل من :

أ - الاختلاف الشديد فى محتوى الرطوبة من مكان لآخر ، وذلك يحدث عندما يكون سمك معين من الجزء الخرساني يحتوى نسبة رطوبة أكبر من باقى هذا الجزء .

ب - التباين الكبير فى مكونات الخلطة فى الأجزاء الخرسانية قرب السطح المعرض للجو ، مثلاً لأن ماء الإدماء ظهر بكثرة على السطح نتيجة المبالغة فى تسوية السطح .

ويتبع من (أ) أنه لا المواد شديدة المسامية - غير القادرة على الاحتفاظ بمحتوى رطوبة عالٍ ، ولا المواد غير المسامية - التى لا تخترقها الرطوبة - يحتمل حدوث شروخ سرطانية بها ، كما تبع من (ب) أن أى خرسانة سطحها مختلف عما تحت السطح - مثلاً لأن ماء الإدماء ظهر بكثرة على السطح نتيجة المبالغة فى تسوية السطح - من المحتمل جداً حدوث شروخ سرطانية بها .

ودرجة رطوبة الجو هى أهم العوامل الجوية المؤثرة على مثل هذه الشروخ وخاصة درجة الرطوبة أثناء تصلد الخرسانة وجفافها ، وكلما انخفضت درجة الرطوبة كلما زاد احتمال حدوث ظروف حادة تؤدى إلى الشروخ السرطانية ، وغالباً ما تظهر الشروخ السرطانية بعد صب الخرسانة بيوم إلى سبعة أيام ، ولكنها يمكن أن تظهر بعد ذلك إذا كانت الظروف حادة بدرجة كافية ، وإذا لم تتأثر الخرسانة بمجموعة من الظروف الجوية فإنها من غير المحتمل أن تشرخ إذا تكررت هذه الظروف ، وإن كان هناك احتمال حدوث شروخ سرطانية عند تعرضها لظروف جوية أكثر حدة .

وبالنسبة للشدة فإن نوعية الشدة التى تؤثر على قدرة الخرسانة على نتح الماء هى أهم

عوامل تشريح الخرسانة الظاهرة ، وعموما فإن كان سطح الشدة ناعما ويمنع نفاذ الماء - حديد أو بلاستيك أو خشب كونتر - فإن ذلك يزيد من احتمال حدوث الشروخ السرطانية وكذلك الخلطات الغنية بالأسمنت وتلك ذات المحتوى الكبير من الماء أكثر عرضة للشروخ السرطانية من غيرها .

٢ / ٢ - شروخ كيميائية :

اعتبارات عامة :

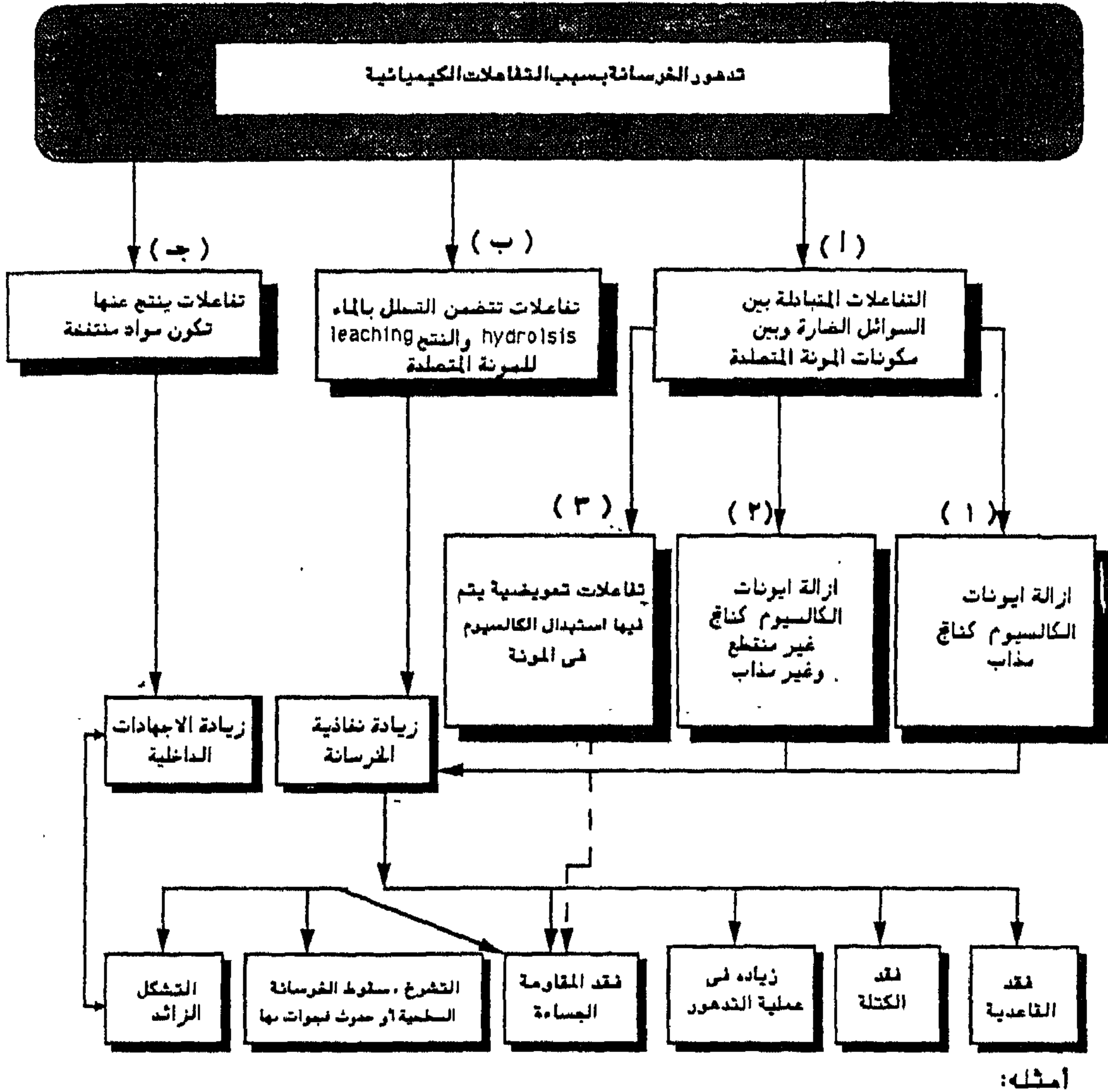
الهجوم الكيميائي على الخرسانة قد يحدث لسبب أو لآخر من الأسباب التالية :

- أ - محاليل كيميائية ضارة فى المياه الجوفية .
- ب - مواد كيميائية ضارة فى الهواء المحيط .
- ج - مواد ومحاليل كيميائية ضارة مخزونة داخل المنشأة أو ملاصقة له .
- د - التفاعل الكيميائي بين مكونات الخرسانة نفسها - تفاعل الركام مع القلويات مثلا .

وتأثير الكيماويات المختلفة على الخرسانة مبين فى جدول (٤ / ١) حيث يتضح منه ما يلى :

- المركبات المحتوية على الكلوريدات سواء كأخماض أو أبخرة حمضية أو محاليل تؤدي إلى صدأ الحديد .
- الأحماض والمياه المحتوية على ثانى أكسيد الكربون تؤدي إلى ذوبان الأجزاء الصلبة وتآكل الخرسانة وفقدانها لكتلتها .
- الكبريتات تؤدي إلى تشريح الخرسانة نتيجة تكون المواد المتفخخة .
- وتفاعل الكيماويات مع الخرسانة يمكن أن يؤدي إلى (شكل ٤ / ١٢) :

- أ - زيادة الإجهادات الداخلية - عن تلك المسببة للتشريح - تؤدي إلى سقوط الخرسانة السطحية Spalling أو تطاير بعض أجزاء الخرسانة Pop - Outs وخاصة الركام قرب السطح نتيجة زيادة إجهادات الضغط فى العضو الخرساني - وهو يحدث غالبا فى الأعمدة ، كما تسبب فقد المقاومة والجساءة .



- ٢١ : المعاليل الممضية التي ينتج عنها تكون كلوريد الكالسيوم واسيتات (acetate) الكالسيوم . الخ .
- ٢١ : محاليل حامض الأوكساليك (Oxalic) وأملاحه التي تكون أكسالات الكالسيوم .
- ٢١ : هجوم ماء البحر لمدة طويلة يؤثر على هيدرات سليكات الكالسيوم (C-S-H) باستبدال الماغنيسيوم مكان الكالسيوم .

ب : هجوم الماء اليسر (soft water) على هيدروكسيد الكالسيوم وهيدرات سليكات الكالسيوم (ثوبان هيدروكسيد الكالسيوم ١٧٧ جرام / لتر عند درجة حرارة ٢٠°م) .

ج : - هجوم الكبريتات الذي يكون سلفا الومينات الكالسيوم والجبس
- تفاعل الركام مع القلويات .
- صدأ الحديد .

شكل (٤ / ١٢) التفاعلات الكيميائية الضارة بالخرسانة وأمثلة عليها (١٥)

الكيمائيات	العملية	التأثير المحتمل
حامض الكبريتيك المخفف (H_2SO_4)	ذ ، (خ)	ف ، (ك)
حامض الهيدروكلوريك المخفف (HCL)	ص	ف ، ص
أبخرة حامض الهيدروكلوريك	ص	(ص)
محلول كلوريد الأمونيوم (NH_4CL)	ص ، ت	ت ، ق ، ص
محلول كبريتات الماغنسيوم ($MgSO_4$)	خ ، ت	ش ، ت
محلول كبريتات الكالسيوم ($CaSO_4$)	خ	لا ، (ش) ، (ص) ، (ل)
محلول كلوريد الكالسيوم المخفف ($CaCl_2$)	لا ، (ص)	ش
محلول كلوريد الكالسيوم المركز	خ ، ص	ش ، ص
محلول هيدروكسيد الصوديوم ($NaOH$)	ف ، (ت)	ك ، (ت)
محلول كلوريد الصوديوم ($CaCl$)	ص ، (ف)	ص ، (ك)
الزيوت المعدنية (Mineral oils)	غ	لا ، (ت) ، (ل)
الدهن الحيواني	ت	ت ، (ق)
مياه بها ثاني أكسيد الكربون	ذ	ف ، (ق)
غاز ثاني أكسيد الكربون	ت	ق

جدول (١ / ٤) تأثير الكيمائيات المختلفة على الخرسانة (١٥)

مفتاح الجدول :

العملية :

التأثير المحتمل

لا : لا شيء

ك : تشكل

ش : شروخ

ف : فقد الكتلة

ت : تغير في الخصائص

الميكانيكية

ق : فقد القاعدية

ص : ضعف صلابة التسليح

ل : تغير اللون

غ : غيرها

لا : لا شيء

ذ : ذوبان الأجزاء الصلبة

ت : تحلل للأجزاء الصلبة (تبادل الأيونات ، تغيرات

بوليمرفيه LYMPHIC CHANGES) الخ)

خ : تكون مواد منتفخة

ف : تفاعل مع الركام

ص : صدأ الحديد

غ : غير معلوم

ملحوظة : الرموز بين الأقواس تعبر عن عمليات أو تأثير ضعيف أو ثانوى

ب - زيادة نفاذية الخرسانة والتي تؤدي إلى فقدان القاعدية - ومن ثم فقدان حماية الأسياخ - وفقدان الكتلة - التآكل - وزيادة التدهور الناشئ عن أسباب أخرى وفقدان المقاومة والجساءة بعد ذلك .

ومن الناحية العلمية يمكن تقسيم المواد الكيميائية التي تهاجم الخرسانة إلى أربعة مجموعات :

المجموعة الأولى : الأحماض كلها .

المجموعة الثانية : مركبات الألمنيوم - بعضها وليست كلها .

المجموعة الثالثة : الكبريتات - كلها .

المجموعة الرابعة : أملاح إذابة الجليد وغيرها من الأملاح .

٢ / ٢ / ١ - شروخ نتيجة الأحماض : (شكل ٤ / ١٣) (٤ / ١٤) بملحق الألوان :

المبدأ العام أن الأحماض تتفاعل مع القلويات ، ومونة الأسمنت قلوية بدرجة كبيرة ، كما أن الأحماض قد تهاجم الركام الكلسى - مثل ركام الحجر الجيري - ويعتبر أى محلول حمضيا عندما ينخفض الأس الهيدروجينى (pH) إلى أقل من ٧ (نقطة التعادل) ويكون قلويا عندما يكون الأس الهيدروجينى أكبر من ٧ .

والأس الهيدروجينى هو الذى يمثل تركيز أيونات الهيدروجين ، ومقياس الأس الهيدروجينى ليس مقياسا عاديا وإنما هو مقياس لوغارىمى ، أى أن تركيز أيونات الهيدروجين فى سائل ما أسه الهيدروجينى = ٢ يصل إلى عشرة آلاف مرة تركيزها فى سائل آخر أسه الهيدروجينى = ٦ ومن المهم إدراك أن الأس الهيدروجينى لا يقيس نوع ولا كمية الحمض فى أى سائل وإنما يقيس فقط تركيز الحموضة .

ومن الممكن نظريا حساب الكمية التقريبية للأسمنت الذى يحدث لها تعادل عند تعرض الخرسانة لمحلول حامض ما له أس هيدروجينى محدد ، وهكذا يمكن تحديد الزيادة النظرية فى القوة التدميرية لمحلولين من حامض واحد عندما يتسبب أحدهما فى نقص الأس الهيدروجينى للخرسانة (زيادة تركيز الحموضة) .

ويزداد تأثير الحامض على الخرسانة المسلحة إذا تغلغل فى الخرسانة من خلال

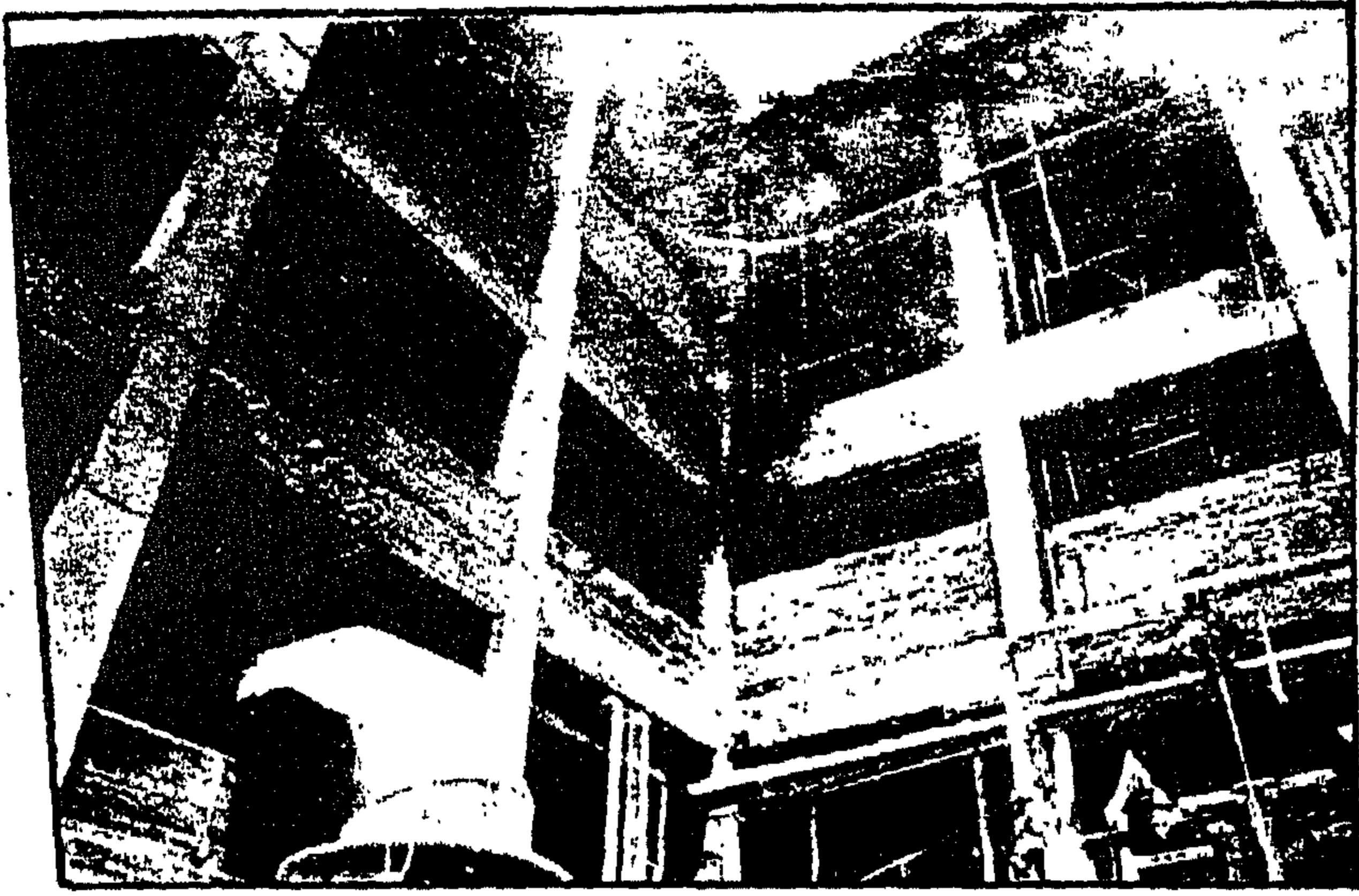
الشروخ السطحية ووصل إلى صلب التسليح ؛ لأن الحديد فى هذه الحالة سيصدأ ويسقط الغطاء الخرساني ، وسيصبح تدهور الخرسانة عندئذ أساساً بسبب صدأ الحديد أكثر منه بسبب هجوم الحامض على الخرسانة ذاتها ، ومن المهم أن ننتبه إلى أن نفس تركيز الحمض فى المحاليل لأحماض من أنواع مختلفة يعطى أرقاماً هيدروجينية مختلفة ، فلا بد من تحديد نوع الحامض فى المياه المحيطة بالخرسانة وليس فقط الأس الهيدروجيني لهذه المياه .

٢ / ٢ / ٢ - شروخ نتيجة مركبات الأمونيوم :

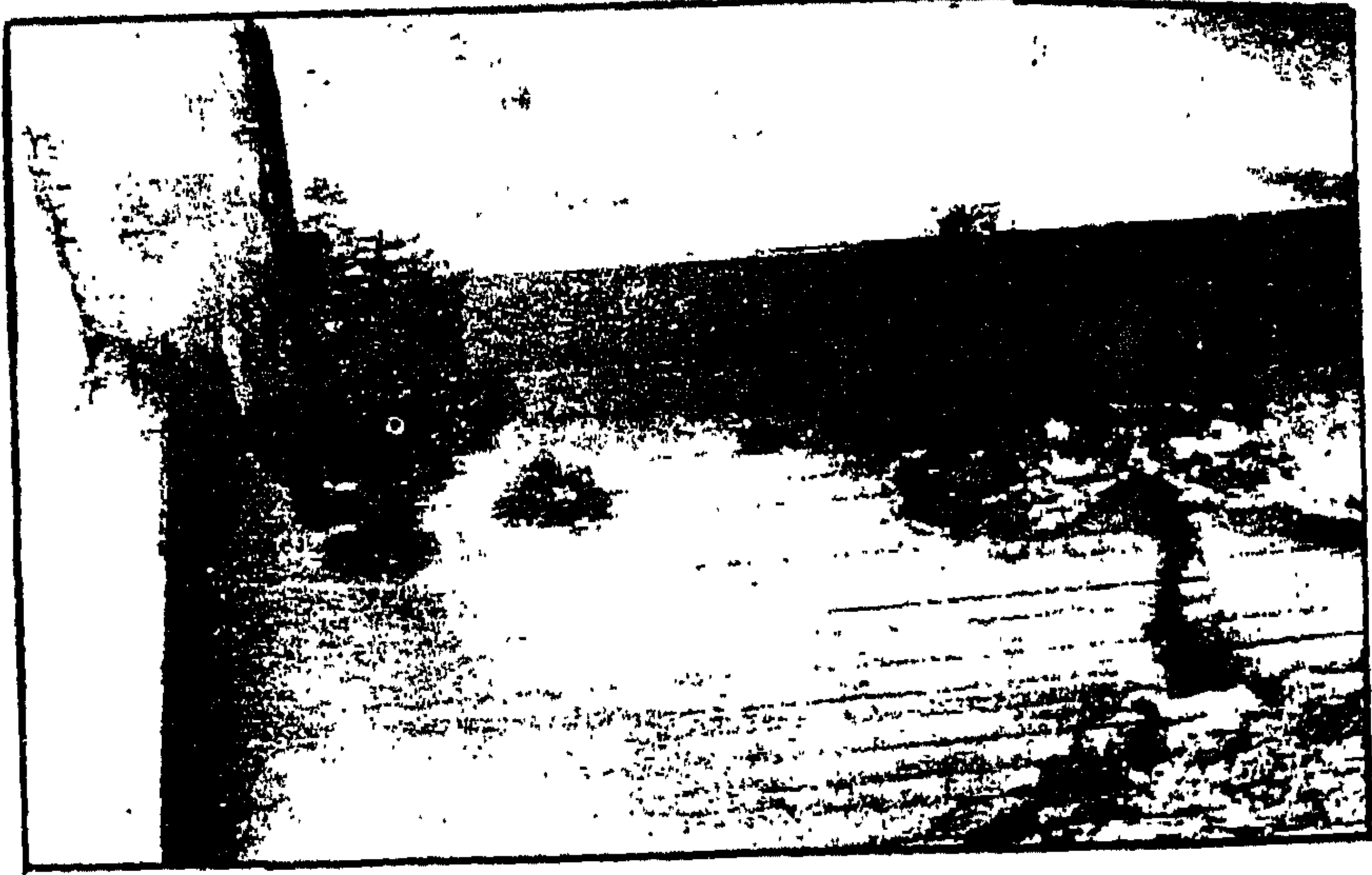
ليس لكل مركبات الأمونيوم تأثير ضار على الخرسانة - فكربونات الأمونيوم مثلاً ليس لها تأثير ضار - ولكن أغلبها له هذا التأثير الضار وخاصة مركبات الأمونيوم الموجودة فى الأسمدة مثل : نترات الأمونيوم وكبريتات الأمونيوم وسوبر كبريتات الأمونيوم . وتأثير هذه المركبات على الخرسانة ممكن أن يكون ضاراً جداً ، وخاصة إذا كان الجو دافئاً ودرجة الرطوبة مرتفعة - أشكال (١٥ / ٤) إلى (٢٠ / ٤) .

ويختلف رأى الجهات المعنية بمواصفات الخرسانة المسلحة اختلافاً كبيراً حول مدى تأثير مركبات الأمونيوم على الخرسانة وحديد التسليح ، فبينما يرى البعض أن صلب التسليح معرض للخطر عند تعرض الخرسانة لمركبات الأمونيوم يرى البعض الآخر أن صلب التسليح لم يصدأ عند تعرض الخرسانة المسلحة لهجوم حاد من نترات الأمونيوم (١٦) ، وفى تقرير للجنة المعهد الأمريكى للخرسانة رقم ٥١٥ (١٧) رأى ينص على أن سوائى الأمونيا تكون مضرّة للخرسانة فقط إذا كانت محتوية على أملاح الأمونيوم ، فإن أبخرة الأمونيا لا تهاجم إلا الخرسانة المبتلة وتأثيرها فى هذه الحالة يكون بطيئاً ، ويرى باحث آخر أن المحاليل التى تحتوى على كلوريدات الأمونيوم ونترات الأمونيوم لا تؤثر تأثيراً ضاراً على الخرسانة إلا أنها تصبح أحماضاً مذابة نتيجة فقد الأمونيا عند التفاعل مع الجير ، وتأثير محاليل كبريتات الأمونيوم هو حدوث تفتت للخرسانة أساساً نتيجة للتمدد الحادث بسبب تكون سلفا ألومينات الكالسيوم .

وبوجه عام فإن الأسمت عالية الألومينا يتأثر أقل - بدرجة كبيرة - بالمحاليل التى تحتوى على أملاح الأمونيوم من الأسمت البورتلاندى العادى .



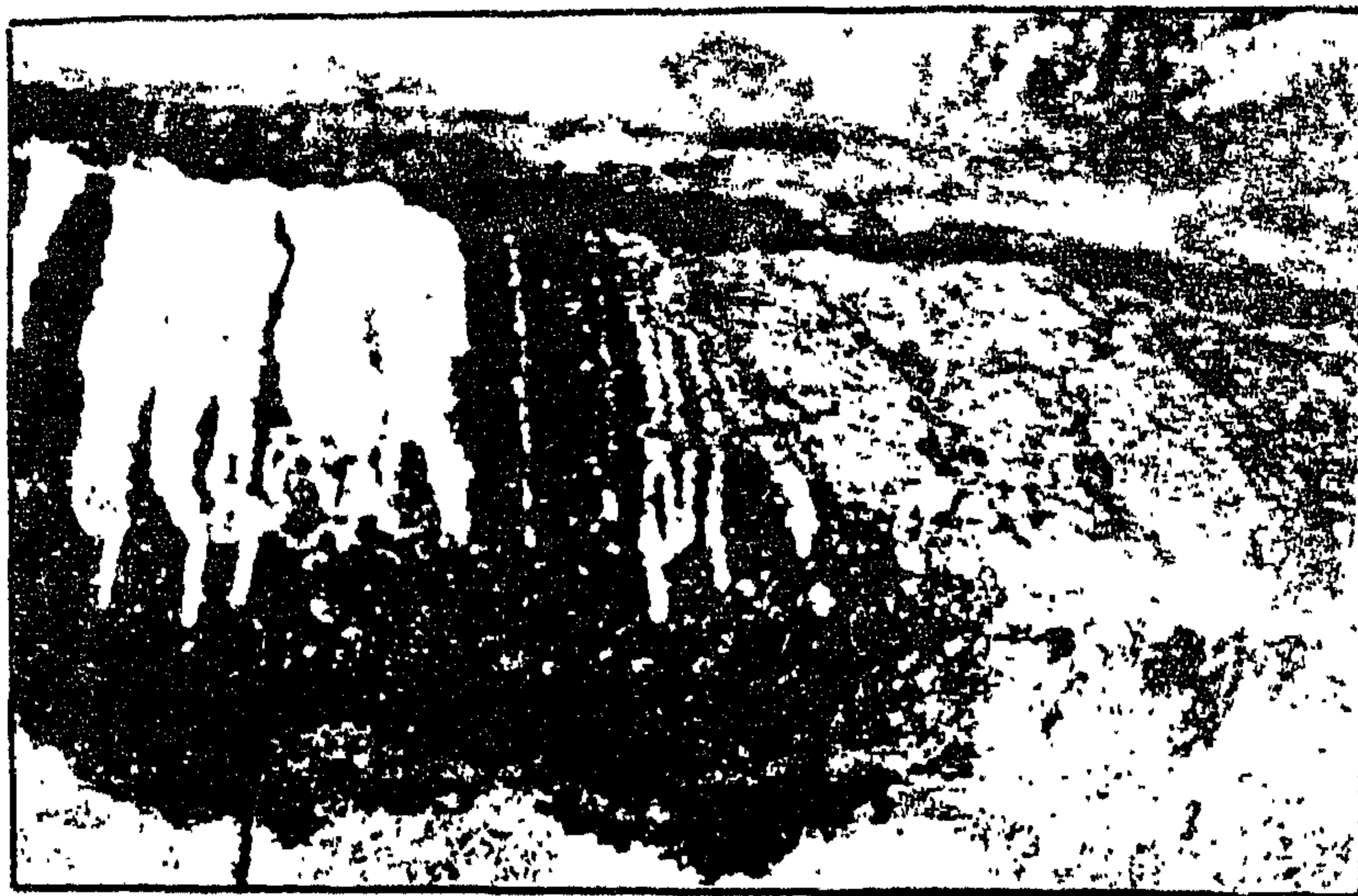
شكل (١٥ / ٤) مصنع الأسمدة من الداخل وتظهر بالصورة
الأبخرة الكيماوية المتصاعدة باستمرار



شكل (١٦ / ٤) ظهور البقع والتآكل في الخرسانة الظاهرة
(غير انجمية) عند تعرضها لأبخرة كيماوية



شكل (١٧ / ٤) تآكل شديد في خرسانة السقف نتيجة تأثير الكيماويات



شكل (١٨ / ٤) تساقط المواد الكيماوية على كمره مقلوبة وتآكل الخرسانة حتى ظهور الكانات



شكل (٤٠ / ١٩) تآكل شديد للخرسانة (بعمق ٢٠ - ٢٥ سم) وتظهر الخرسانة كما لو كانت خرسانة رغوية



شكل (٤٠ / ٢٠) تآكل شديد في خرسانة الكمرات والأعمدة وظهور أسياخ التسليح (لاحظ عدم وجود صدأ الأسياخ)

٢ / ٢ / ٣ - شروخ نتيجة هجوم الكبريتات :

نظريا ، فإن كل المحاليل المحتوية على كبريتات تضر الخرسانة المكونة من أسمنت بورتلاندى عادى لدرجة كبيرة أو صغيرة حسب محتوى الكبريتات ، وتتفاعل الكبريتات مع ثلاثى ألومينات الكالسيوم الموجود فى الأسمنت مكونة سلفا ألومينات الكالسيوم ، هذا التفاعل يصاحبه زيادة كبيرة فى الحجم تؤدي إلى تولد إجهادات شد محلية عالية القيمة مما يسبب تشرخ الخرسانة ، ودرجة خطورة المحاليل المحتوية على كبريتات على الخرسانة تعتمد على عدد من العوامل من أهمها :

أ - نسبة ثلاثى ألومينات الكالسيوم فى الأسمنت .

ب - نفاذية الخرسانة ودرجة دمكها .

ج - قابلية لكبريتات للذوبان كمحلول .

د - ما إذا كان أكثر من مكون فى الكبريتات يتفاعل مع مكونات الأسمنت ، مثلا وجود كبريتات امانغنسيوم وكبريتات الأمونيوم يضاعف خطورة المحلول الكبريتى ، وفى أغلب الحالات تكون الكبريتات خارج الخرسانة - أى موجودة فى المياه الجوفية أو مخلفات الصناعة المحيطة بالخرسانة - ولكن فى منطقتنا - الشرق الأوسط - توجد الكبريتات بنسبة تركيز عالية أحيانا فى الركام الناعم ، والنتيجة واحدة فى الحالتين : تفاعل يصاحبه ازدياد فى الحجم مما يؤدي إلى تصدع الخرسانة .

وإذا استعملت المياه العسرة - مياه الآبار - التى تحتوى على كبريتات فى الخلطة الخرسانية ، فلا بد من أخذ نسبة تركيز الكبريتات فى هذه المياه فى الاعتبار ، وتصبح النسبة الكلية للكبريتات من كل المصادر - ركام ، أسمنت ، ماء وإضافات - هى النسبة الحاكمة ، وفى هذا الصدد يجب أن ننتبه إلى أن الأسمنت يحتوى على كبريتات فى صورة جبس - كبريتات الكالسيوم - الذى يستخدم فى صناعة الأسمنت للتحكم فى زمن الشك ، والمسموح به أن تصل هذه النسبة إلى ٣ ٪ من وزن الأسمنت ، ولما كانت النسبة الكلية للكبريتات - من كل المصادر - المسموح بها لا تتعدى ٤ ٪ من وزن الأسمنت ، فإن ذلك يجعل نسبة الكبريتات المسموح بها فى الركام والماء ضئيلة ، وتعتمد على نسبة الكبريتات الفعلية فى الأسمنت .

٢ / ٢ / ٤ - شروح نتيجة تأثير الأملاح :

إن الطبقة الحامية السلبية على سطح أسياخ الصلب يمكن أن تزول في وجود أيونات الكلوريد ، هذه الكلوريدات الضارة يمكن أن تنشأ من كلوريد الصوديوم - ملح الطعام - في المناطق الساحلية - ماء البحر - أو من أملاح الجليد في المناطق الباردة ، أو من استعمال إضافات كلوريد الكالسيوم ، وعموما فالكلوريدات ضارة جدا بصلب التسليح ، حيث إنها تسبب الصدأ ، ولذلك فقد وضعت حدود عليا لتواجد الكلوريدات في الخلطة الخرسانية ذاتها ، فيجب ألا تزيد نسبة الكلوريدات بالنسبة للأسمنت بالوزن عن (١٨) :

أ - ٠,١٥ ٪ للخرسانة المسلحة المعرضة للكلوريدات .

ب - ٠,٣٠ ٪ للخرسانة غير المحمية ولكنها غير معرضة للكلوريدات .

ج - ١,٠ ٪ للخرسانة المسلحة الجافة والمحمية تماما من الرطوبة في ظروف الاستخدام .

أما خارج الخلطة فيمكن أن تكون هذه الكلوريدات في المياه المحيطة بالخرسانة كماء البحر أو أملاح إذابة الجليد .

أ - ماء البحر أو محاليل كلوريد الصوديوم :

وهي بوجه عام غير ضارة بالخرسانة الجيدة الكثيفة (Dense concrete) ، وتختلف درجة تركيز الأملاح في البحار والمحيطات المختلفة ، فبينما يبلغ تركيز الكلوريدات والكبريتات في مياه المحيط الأطلنطي ١١٨ ألف جزء من المليون و ٢٥٠٠ جزء من المليون نجد أن تركيزها في مياه البحر الأحمر والخليج العربي أكبر على الأقل بنسبة ٢٥ ٪ ، وطبيعي أن يزيد هذا التركيز عن ذلك في البحار المقفولة - البحر الأسود والبحر الميت - وخطورة المحاليل المحتوية على كلوريدات أنها تهاجم صلب التسليح بشدة إذا تغلغلت في الخرسانة .

ب - أملاح إذابة الجليد :

الرش المتكرر لأملاح إذابة الجليد على الطرق المكونة من بلاطات خرسانية يؤدي إلى تزايد معدلات صدأ الحديد لو وصلت أملاح الكلوريدات إليه ، وبالإضافة إلى هذا فقد يحدث ضرر للخرسانة ذاتها - ولو كانت عالية الجودة - بسبب الكيماويات المستخدمة

فى إذابة الجلىد - ولو كانت غير محتوية على كلوريدات - وتصبح الخرسانة التى تأثرت بأملاح إذابة الجلىد ذات سطح خشن وذات نتوءات نتيجة تساقط وتآكل أجزاء من المونة السطحية scalling ويكون احتمال تأثر خرسانات الطرق بالأملاح أكبر إذا كان دمك الخرسانة مبالغاً فيه (Over vibrated) أو إذا كانت تسوية السطح تمت مبكراً جداً أو لفترة طويلة جداً - المبالغة فى استخدام القدة الخشبية - أو إذا تعرض السطح للانكماش اللدن - انظر فصل (١ / ١) - أو إذا كان ماء الإدماء زائداً عن الحد المعقول ؛ لأن كل هذه الأسباب تؤدى إلى تكون طبقة ضعيفة من المونة على السطح أو أسنله مباشرة ، ويحتمل احتوائها على شروخ دقيقة (Micro cracks) أو مسارات سببتها مياه الإدماء يمكن أن تنقل المحاليل الكيميائية من السطح إلى داخل الخرسانة .

ج - كلوريد الكالسيوم :

لا تتأثر الخرسانة الجيدة الكثيفة بالمياه المحتوية على كلوريد الكالسيوم ولكن إذا كان تركيز كلوريد الكالسيوم عالياً فيمكن أن تتأثر الخرسانة على المدى البعيد ولكن الضرر البالغ يسببه كلوريد الكالسيوم الداخل فى تكوين الخرسانة - على صورة إضافات - ولذلك فقد تم منع استخدام كلوريد الكالسيوم كإضافة للخرسانة المسلحة فى بلاد كثيرة فى الثلاثين سنة الأخيرة ، أما قبل ذلك فقد كان يستخدم بكثرة منذ الثلاثينات كإضافة الوحيدة للحصول على مقاومة مبكرة للخرسانة ، وكان استخدامه شائعاً فى المناطق الباردة وفى الخرسانة سابقة التجهيز .

وكان من المتعارف عليه أن استخدام انهيدرات كلوريد الكالسيوم يكون بحد أقصى ١,٥ ٪ بالوزن من الأسمنت بشرط أن تكون مواصفات تصميم ومصنعية الخلطة الخرسانية مضبوطة ، وإذا زادت هذه النسبة فكان من المعروف أن صدأ الحديد يبدأ بمعدل يعتمد على سمك الغطاء الخرساني وجودة الخرسانة .

د - محاليل كيميائية أخرى :

الصودا الكاوية : (هيدروكسيد الصوديوم) :

الصودا الكاوية والقلويات الكاوية الأخرى لا تضر بالخرسانة إذا لم يزد تركيزها عن ١٠ ٪ ، أما إذا زاد عن ذلك فيمكن أن يحدث تدهور بطيء للخرسانة ، خاصة فى درجات الحرارة العالية .

٢ - المياه المقطرة والمعدنية :

ومن المدهش أن يكون لمثل هذه المياه تأثير ضار على الخرسانة ولكن هذا التأثير يحدث بسببين : أولهما وجود كربون غير ذائب فيها ، والثاني أنها ذات قدرة كبيرة على إذابة الجير الموجود بالأسمنت فيحدث زيادة في النزف (Leaching) - شكل ١٢ / ٤ .

٣ - عصائر الخضروات والفاكهة :

وتأثيرها الضار ناتج من احتوائها على أحماض عضوية وعلى سكر ، وكلاهما له تأثير ضار على الخرسانة .

٤ - اللبن :

اللبن الطازج ليس له تأثير على الخرسانة ، ولكن اللبن الفاسد يحتوى على حمض اللكتيك (Lactic acid) الذى يهاجم الخرسانة ، وتعتمد درجة الخطورة على نفاذية الخرسانة وعلى نسبة تركيز الحامض .

٥ - مياه المجارى :

مياه المجارى المنزلية ليست ضارة بالخرسانة ولكن مياه المخلفات الصناعية يمكن أن تكون ضارة جدا بالخرسانة إذا كانت محتوية على كيماويات ضارة وخاصة الأجماض ، وتعتمد حدة الضرر على درجة التركيز وعلى فترة تعرض الخرسانة لهذه المياه ولحد ما على درجة الحرارة .

٦ - السكر :

يهاجم الخرسانة ببطء ولكن متى تغلغل محلول السكر داخل الخرسانة فإن معدل الضرر يزداد ، ومما يزيد الأمر سوءا حركة المرور على سطح الخرسانة سواء فى المصانع أو مخازن المواد السكرية .

٧ - اليوريا :

تستعمل اليوريا فى صناعة الأسمدة وفى أملاح إذابة الجليد ، وقد اختلفت الآراء فيما إذا كان تدهور الخرسانة المعرضة لليوريا بسبب تفاعل كيميائى أم بسبب عوامل طبيعية هى تمدد كريستالات اليوريا فى الفراغات الموجودة بالخرسانة ، واليوريا لها تأثير ضار على

الخرسانة والحديد معا ، فاليوريا تسبب نقصا فى الشد السطحي للمياه مما يسبب ضررا نتيجة تسرب المياه داخل فجوات الخرسانة ثم تمدد كريسيلات اليوريا عند تكونها فى هذه الفجوات ، أما بالنسبة لتأثيرها على الصلب فهناك من الأبحاث ما يظهر أن تأثيرها يماثل فى الضرر تأثير كلوريد الصوديوم .

٨ - غاز الهيدروجين الكبريتى :

وهو ما ينتج من البكتريا فى خزانات التحليل ، والغاز نفسه لن يهاجم الخرسانة ولكنه شديد القابلية للذوبان فى الماء مكونا حامض الكبريتيك الشديد الضرر على الخرسانة ، وأى غازات كبريتية قابلة للذوبان فى الماء تصبح ضارة جدا بالخرسانة لنفس السبب .

٢ / ٢ / ٥ - شروخ نتيجة تفاعل الركام مع القلويات

Alkali - Aggregate Reaction :

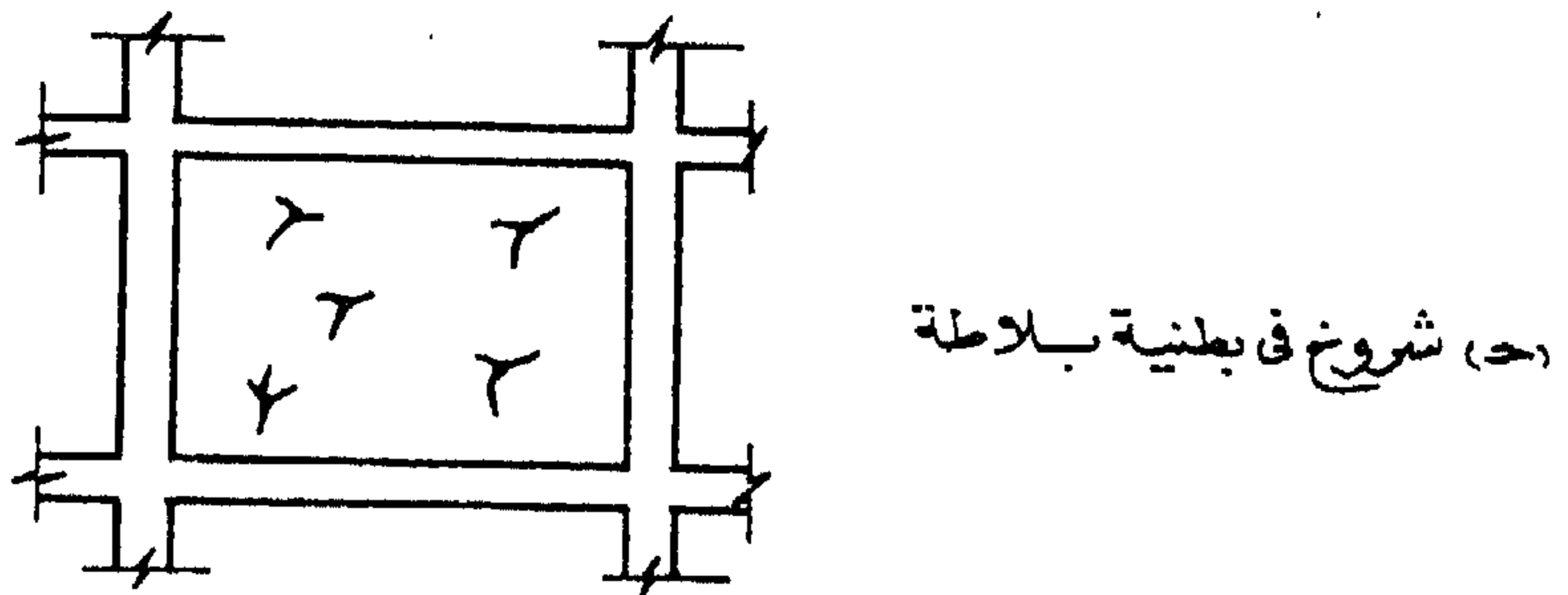
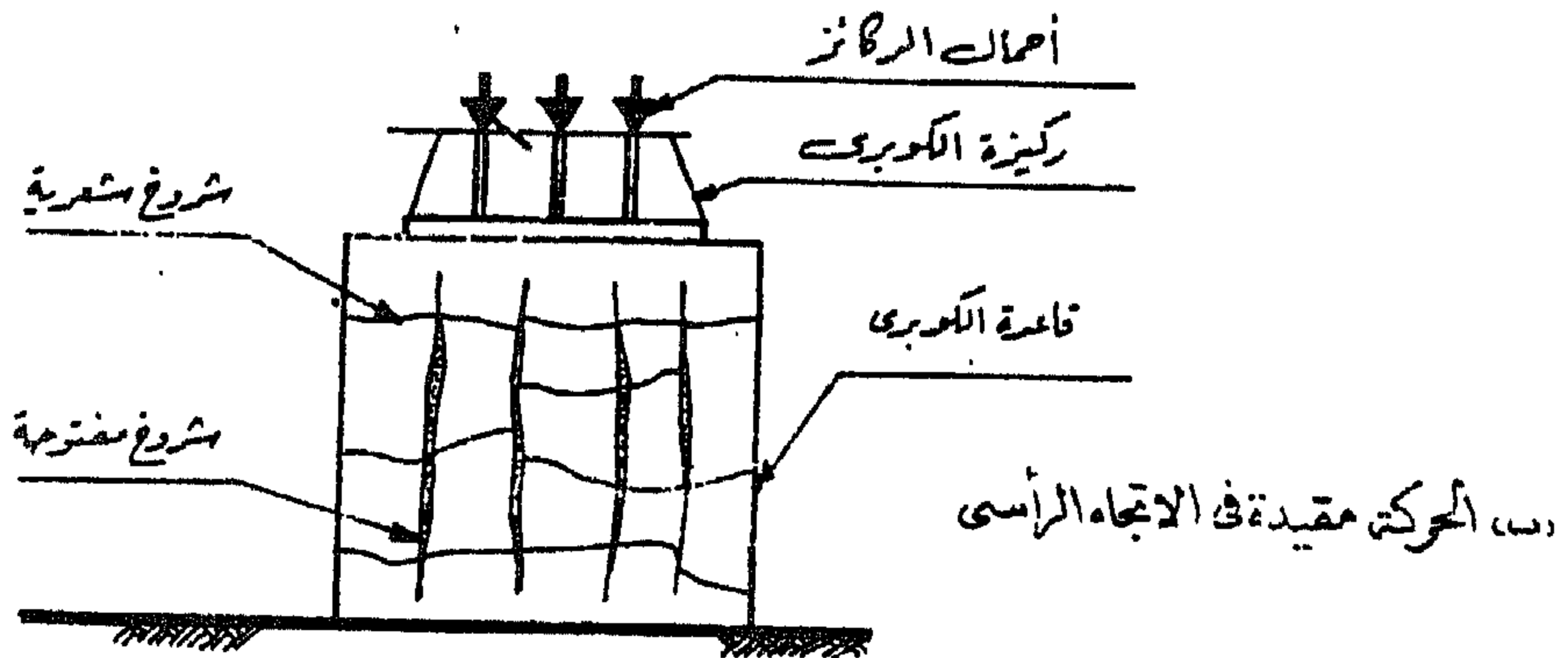
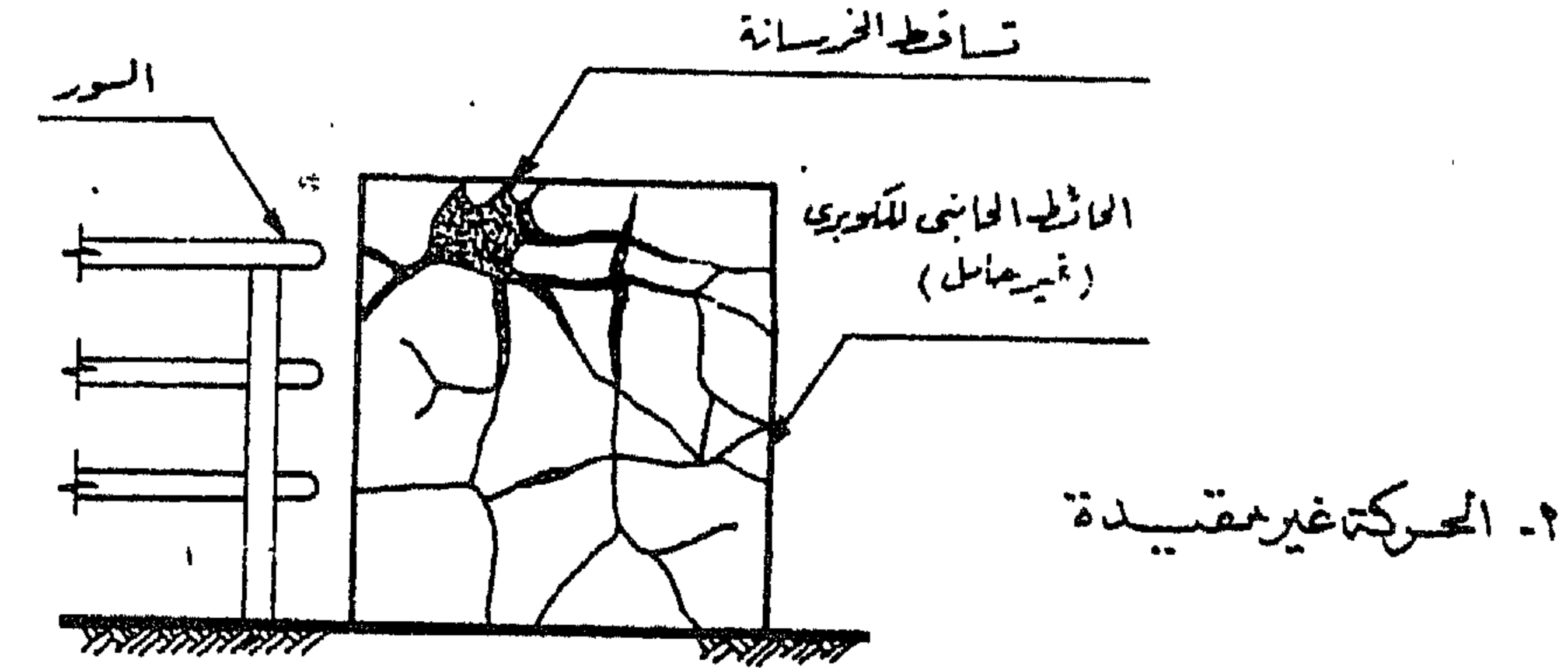
وقد لوحظت هذه النوعية من الشروخ فى الأربعينات فى الولايات المتحدة ، ثم لوحظت فى عدد من الدول بعد ذلك منها كندا وايسلندة والدانمارك وألمانيا وقبرص وتركيا وأستراليا وجنوب إفريقيا ، وبلغ عدد الحالات التى أمكن رصدها فى بريطانيا وحدها حتى عام ١٩٨٥ ثلاثمائة وخمسين حالة .

الوصف :

هناك نوعان من تفاعل الركام مع القلويات : تفاعل القلويات مع السيليكا وتفاعلها مع الكربونات ، والنوع الأول أكثر انتشارا ، وهناك اختلاف كبير بين الشروخ الناشئة عن الحالتين :

ففى النوع الأول يتفاعل الركام المحتوى على سيليكات نشطة مع القلويات ، ويتسبب هذا التفاعل فى تكوين مادة هلامية (Silica gel) تنتفخ وتجذب الماء من مناطق أخرى فى الخرسانة ، وهذا يؤدى إلى انتفاخ الخرسانة وتمدد موضعى مصاحب بإجهادات شد تؤدى إلى شروخ تنسع وتعمق حتى تتساقط الخرسانة السطحية ، وعندما يكون التمدد غير مقيد - كما فى حوائط الأسوار والحوائط المعلقة - (Wing walls) وحوائط الكبارى (Pylons) فتظهر الشروخ فى شكل عشوائى (Map cracking) - انظر شكل (٤ / ٢١ - أ) - أما إذا كان هناك قيد على حركة التمدد فى اتجاه واحد أو

أكثر ، كما في دعائم الكبارى (Bridge piers) والحوائط الجانبية (Abutments) حيث تمنع الأحمال الحركة الرأسية فتظهر الشروخ في شكل سلسلة من الخطوط المتوازية مع تمدد عرضي للخرسانة (عمودى على اتجاه المنع من الحركة) - انظر شكل (٢١ / ٤ - ب) .



شكل (٢١ / ٤) شروخ تفاعل الركام مع القلويات

أما النوع الثانى - تفاعل القلويات مع الكربونات - فينتج منه تكون القلويات والسيليكا بين حبيبات الركام فى مونة الأسمنت (١٩) ، وتظهر الشروخ على شكل شبكى ، ويمكن تمييزها عن شروخ النوع الأول العشوائية بعدم تكون جزيئات السيليكا المنتفخة - راجع قسم ١ / ٣ / ٢ من الباب الثالث .

الأسباب :

كلا النوعين ينشأ من تفاعل القلويات مع أنواع معينة من الركام - السيليسي أو الجيرى - وتفاعل القلويات مع السيليكا ينشأ من تفاعل الركام المحتوى على سيليكاً نشطة مع القلويات التى تظهر عند إماهة الأسمنت - تفاعله مع الماء - ومصدر هذه القلويات إما أن يكون :

أ - أملاحاً معدنية فى الأسمنت .

ب - أو القلويات الموجودة ببعض الإضافات .

ج - أو مصادر خارجية : المياه الجوفية ، ماء البحر ، محاليل قلوية مخزنة على سطح الخرسانة ، مواد نهو الأسطح .

ولا يحدث هذا التفاعل إلا فى ظل وجود سيليكاً نشطة ورطوبة حول الخرسانة ، أما تفاعل القلويات مع الكربونات فينشأ عند استخدام أنواع معينة من الركام الجيرى ونواتج التفاعل هو القلويات والسيليكا التى تؤدى إلى زيادة فى حجم مونة الأسمنت مما يسبب الشروخ السطحية .

ويصاحب تفاعل القلويات مع السيليكا ثلاثة مشاكل رئيسية :

أ - أنه لا يوجد حتى الآن اختبار سريع يمكنه تحديد ما إذا كان خلط أسمنت معين مع ركام معين بنسبة خلط معينة سيؤدى إلى حدوث هذا التفاعل أم لا على المدى الطويل .

ب - لكى يصبح تأثير هذا التفاعل ظاهراً فقد يحتاج الأمر إلى زمن طويل .

ج - لا توجد طريقة للعلاج الدائم لمثل هذا التفاعل .

ولذلك يوجد اهتمام بهذا الأمر ينعكس على العدد الكبير من الأبحاث التى أجريت على ركام به سيليكاً نشطة فى مختلف أنحاء العالم .

وليس من السهل دائما معرفة أعراض حدوث تفاعل القلويات مع السيليكا ، ففي حالة عدم وجود قيد على حركة التمدد تظهر الشروخ العشوائية وهي تشبه إلى حد كبير الشروخ نتيجة الجفاف ، وقد يمكن تمييز الأولى بظهور مادة بيضاء - السيليكا المنتفخة - ولكن هذه المادة البيضاء لا تظهر دائما عند السطح ، كما أن وجود تسليح قريب من السطح - السفلى أو العلوى - سيؤثر على شكل الشروخ وتوزيعها ، وفي حالة وجود قيد على حركة التمدد في الاتجاه الرأسى مثلا - نتيجة الأحمال - فستظهر الشروخ في شكل خطوط رأسية متوازية ويمكن أن تختلط في حالة دعائم الكبارى أو الأعمدة ثقيلة التسليح مع أنواع أخرى من الشروخ ، وقد تكون الطريقة الوحيدة المعتمدة للتأكد من أنها شروخ تفاعل القلويات مع السيليكا هي أخذ قلب خرساني من الجزء المشرح ثم تقطيعه رأسيا إلى شرائح رفيعة يتم فحصها ميكروسكوبيا للتأكد من وجود ناتج تفاعل القلويات مع السيليكا .

٢ / ٢ / ٦ - شروخ صدأ الحديد :

قد تكون شروخ صدأ الحديد هي أكثر الشروخ انتشارا في منطقتنا العربية ، ويرجع معظم التصدع في المنشآت الخرسانية ونقص عمرها الافتراضى لصدأ الحديد ، وتعتبر الخرسانة المسلحة من المواد التي تتحمل مع الزمن وتعيش طويلا ويفضلها المصممون لكثير من أنواع المنشآت ولا يقلل من هذا التحمل وهذا العمر إلا صدأ الحديد .

وقد يكون الصدأ بسيطا ويظهر في صورة تنميل خفيف - شروخ رفيعة - عند أسياخ التسليح أو بقع صدأ ، وقد يزيد فيؤدى إلى تساقط الخرسانة المكونة للغطاء الخرساني Spalling ، وقد يصل الصدأ إلى حدوث انهيار للعضو الخرساني - انظر أشكال (٣٠ / ٤) إلى (٤٢ / ٤) .

ويظن أغلب العاملين في حقل التنفيذ أن الرطوبة هي السبب الأساسى للصدأ سواء كانت رطوبة في الجو المحيط أو تسرب مياه من مواسير الصرف أو التغذية ، ولذا فالظن السائد أن عزل الحمامات والمطابخ والأسطح الخارجية يكون كافيا لمنع صدأ الحديد ، ورغم أن الرطوبة والأكسجين هي فعلا وقود عملية الصدأ ، إلا أن الصدأ لا يبدأ إلا إذا فقدت الحماية التي توفرها الخرسانة للأسياخ نتيجة أسباب عدة ، مثل زيادة نسبة الكلوريدات بالخلطة أو التحول الكربوني للخرسانة الخارجية أو حدوث شروخ نتيجة أسباب أخرى غير الصدأ مما يسهل وصول الرطوبة إلى الأسياخ ويبدأ الصدأ .

وخطورة صدأ الحديد أنه يبدأ ويستمر لمدة طويلة بدون ظهور أعراض، وذلك لأن التدهور المصاحب لصدأ الحديد بطيء، وقد يستمر سنين، وخطورته أيضاً أنه طالما بدأ فسيستمر حتى ولو أزيل مصدر الرطوبة ما لم يزال الحديد الصدئ والخرسانة المعيبة وتستبدل بخرسانة سليمة، وأي إجراء يتبع لإصلاح الوضع المتدهور لخرسانة أصابها الصدأ يعتمد كلية على الفهم السليم لأسباب حدوث الصدأ ووسائل السيطرة عليه ومنعه من الاستمرار.

كيف تحمي الخرسانة الأسياخ من الصدأ؟

الحماية التي توفرها الخرسانة للأسياخ من الصدأ ذات شقين: تفاعلات كيميائية على سطح الحديد تؤدي إلى تكون طبقة حماية سلبية (Passive protection layer) على سطح الأسياخ، وحاجز يمنع وصول الرطوبة والأملاح في الجو المحيط إلى الأسياخ، وهذا الحاجز هو الغطاء الخرساني للأسياخ (Cover)، وترجع هذه الحماية إلى أن الخرسانة المحيطة بالأسياخ قاعدية (alkaline) بدرجة كبيرة حيث إن التفاعلات التي تحدث أثناء شك وتصلد الخرسانة تولد مواداً قاعدية - هيدروكسيدات الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم - في الماء الموجود في مسام الخرسانة، وهذه القاعدية ذات أس هيدروجيني (P^H) يتراوح بين ١٢,٥ - ١٣,٥، وعند هذه القيمة للأس الهيدروجيني فإن التفاعلات الكيميائية التي تحدث على سطح أسياخ التسليح تؤدي بسرعة إلى ظروف سلبية - أي ظروف تصبح فيها التفاعلات الكهروكيميائية المؤدية إلى الصدأ غير ممكنة - كما تؤدي هذه التفاعلات إلى تكوين طبقة رفيعة جداً من نواتج الصدأ - مثل أكسيد الحديد $Fe_2 O_3$ - فتلتصق بـ سطح السليخ وتمنع حدوث صدأ الحديد - (انظر شكل ٢٢ / ٤ أ-)، وبذلك تصبح قاعدية الخرسانة المحيطة بأسياخ التسليح هي سبب حماية هذه الأسياخ، وعملياً فإن هذه الحماية فعالة لمدة طويلة إلا إذا فقدت هذه القاعدية نتيجة أملاح أو أحماض تتغلغل في الخرسانة أو نتيجة للتحويل الكربوني للخرسانة السطحية.

لماذا يصدأ الحديد؟

عندما يقل الغطاء الخرساني عن حد معين يصبح السليخ معرضاً للعوامل الجوية، ويمكن أن يبدأ الصدأ في وجود الرطوبة والأكسجين، ولكن حتى مع وجود غطاء خرساني كاف فإن الصدأ يمكن أن يبدأ عندما تقل قاعدية الخرسانة المحيطة بالأسياخ إلى الحد الذي ينخفض فيه الأس الهيدروجيني إلى ٩ أو أقل - انظر (٢٣ / ٤)

وشكل (٤ / ٢٤) - ففي هذه الحالة تصبح الطبقة الحامية السلبية غير متزنة وتتكسر ، مما يجعل التيار الكهربائي يسرى فى السليخ ومن ثم يبدأ الصدأ ، وفقد القاعدية يحدث نتيجة لعامل أو أكثر من العوامل الآتية :

- أ - أبخرة أو محاليل حامضية يتعرض لها العضو .
- ب - التحول الكربونى للخرسانة فى الغطاء الخرساني .
- ج - تغلغل الكلوريدات فى الخرسانة من المياه المحيطة أو وجودها فى الخلطة الخرسانية أصلاً .
- د - وجود شروخ سطحية - لأسباب أخرى غير الصدأ - بعمق يصل إلى أسياخ الحديد ، وخاصة إذا كانت الشروخ موازية لصلب التسليح .

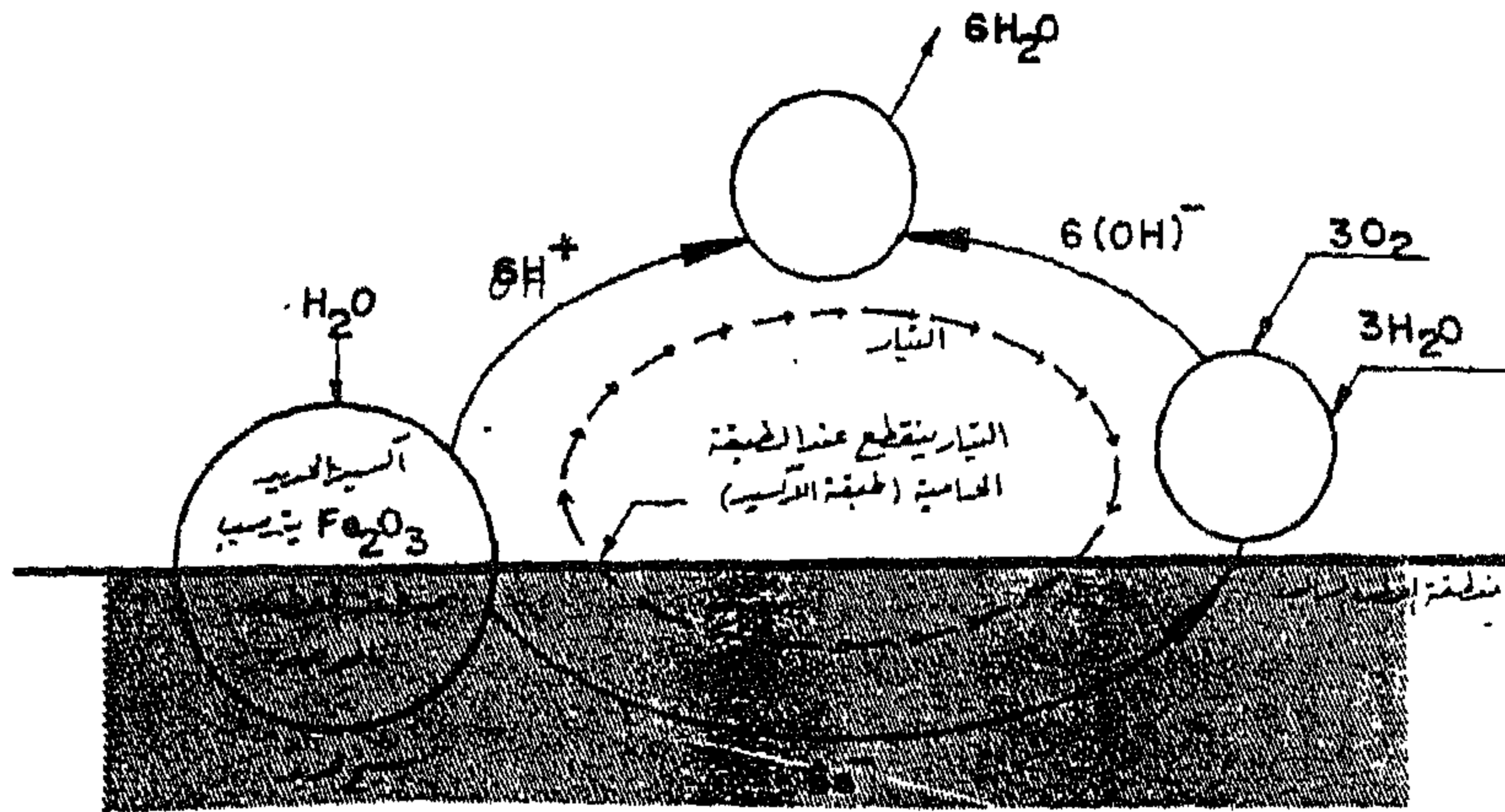
أ - أبخرة أو محاليل حامضية يتعرض لها العضو :

يفقد حديد التسليح الحماية القاعدية للخرسانة نتيجة تغلغل الأبخرة الحامضية الموجودة بالهواء - غالباً ثانى أكسيد الكربون وفى المناطق الصناعية ثانى أكسيد الكبريت - داخل الخرسانة ، ويعتمد هذا التغلغل على نفاذية الخرسانة (Permeability) بدرجة كبيرة ، والخرسانة الرديئة غالباً ما تكون منفذة ، أما الخرسانة الجيدة فهي غير منفذة - انظر الباب الثالث قسم ٢ / ٣ - كما يعتمد هذا التغلغل على سمك الغطاء الخرساني ، وهذان العاملان : نفاذية الخرسانة وسمك الغطاء الخرساني هما المسئولان عن حماية الأسياخ ضد المؤثرات الخارجية ، وتغيرهما الكبير من منشأ آخر هو الذى يفسر التغير الكبير فى وقت بداية الصدأ فى المنشآت المختلفة المعرضة لنفس الظروف الجوية .

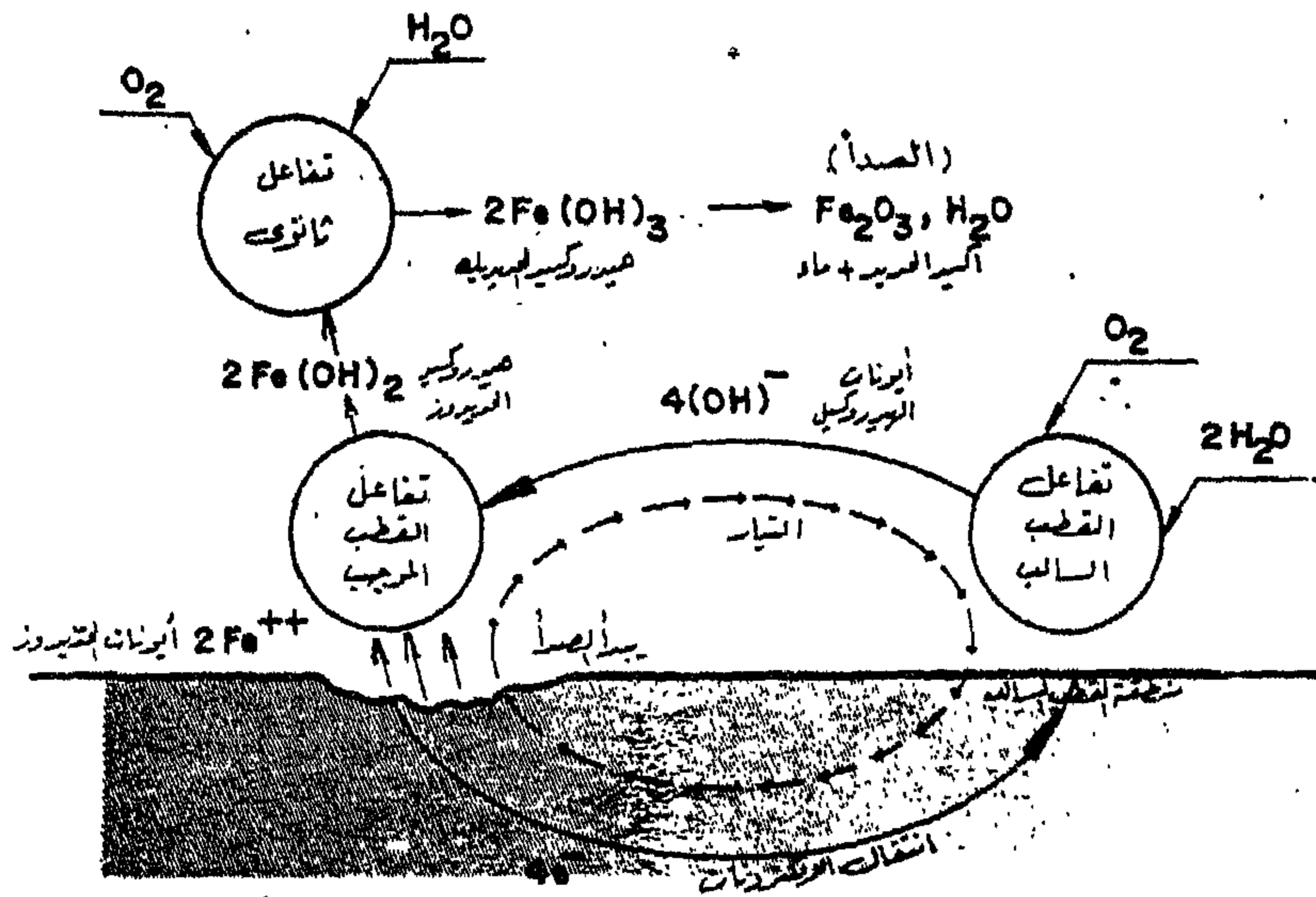
ب - التحول الكربونى للخرسانة (Carbonation) :

تفقد خرسانة الغطاء الخارجى قاعدتها نتيجة عملية تسمى التحول الكربونى للخرسانة وهى تفاعل ثانى أكسيد الكربون الموجود بالجو مع المواد القاعدية الموجودة بالخرسانة - هيدروكسيد الكالسيوم - محولاً إياها إلى كربونات فى وجود الرطوبة :



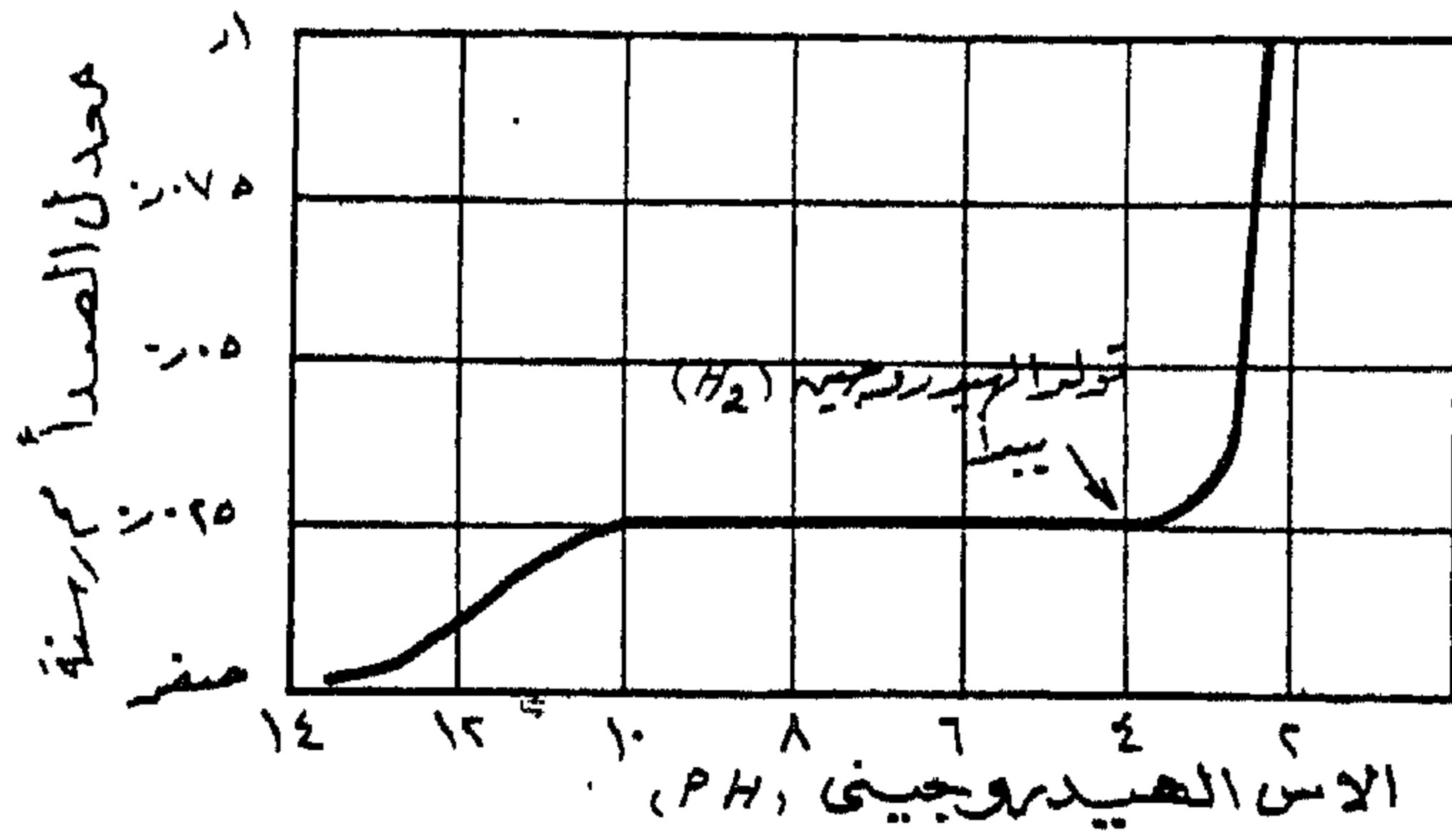


٢- عدم حدوث صدأ نتيجة تأثير الطبقة الحامية (Passive Protection)

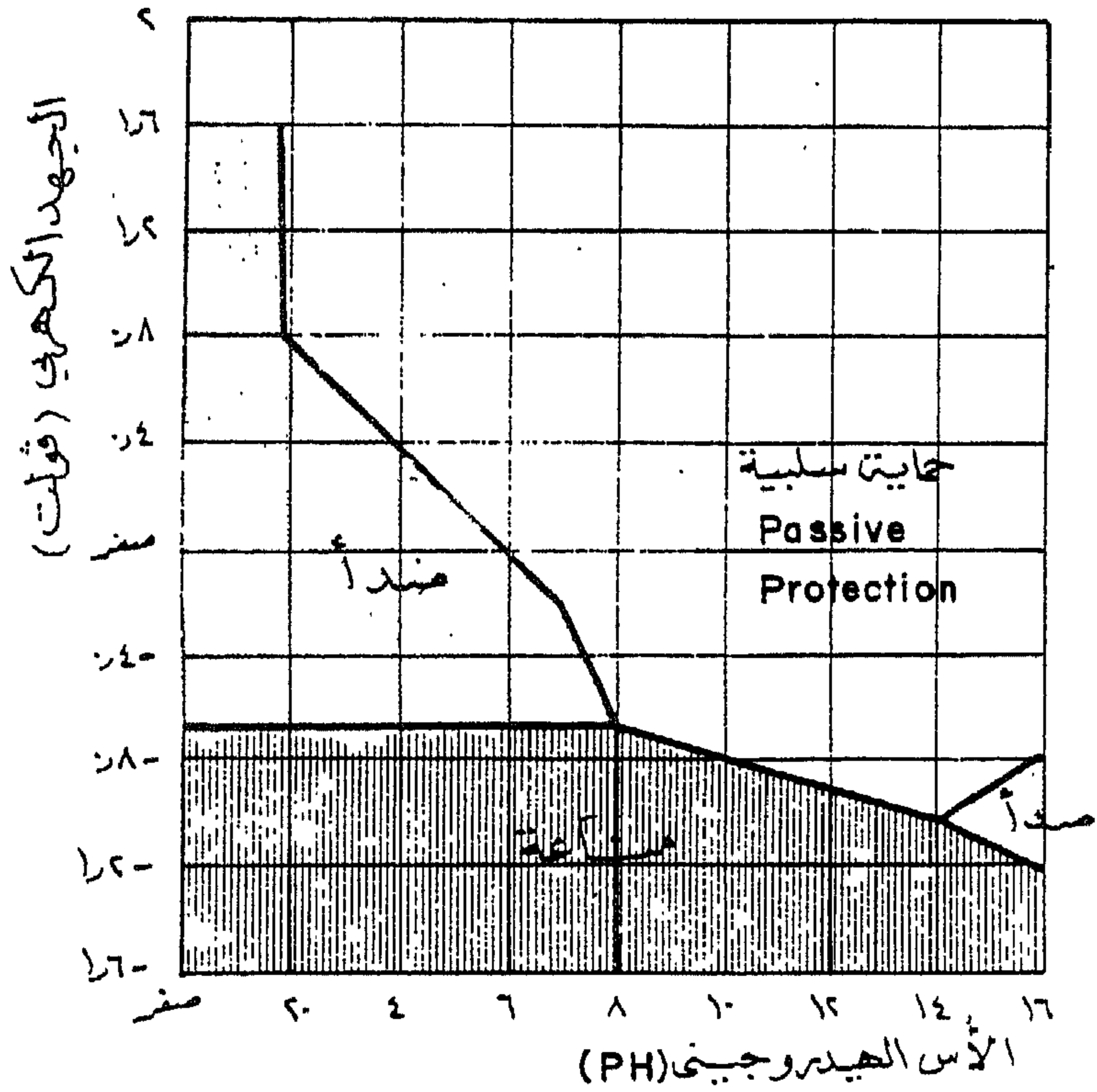


ب- بدأ الصدأ عند تكسر الطبقة الحامية لحديد التسليح
سبب الصدأ

شكل (٤ / ٢.٢) نموذج للتفاعل الكيميائي في حالة الصدأ
وفي حالة وجود حماية ضد الصدأ



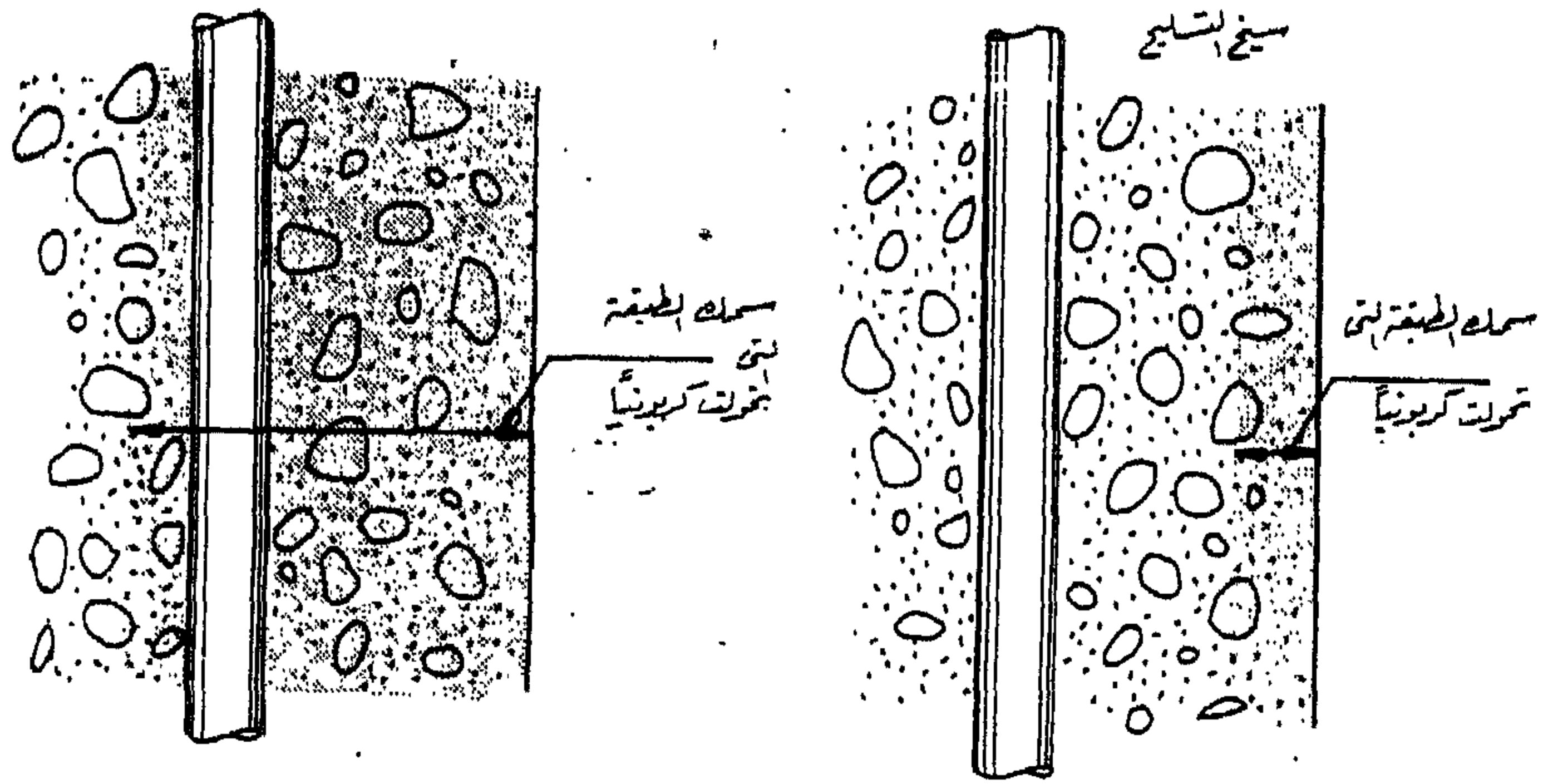
شكل (٢٣ / ٤) تأثير الأس الهيدروجيني على معدل صدأ الحديد (مرجع ٢٢)



شكل (٢٤ / ٤) شكل بويكس لعلاقة الصدأ بالأس الهيدروجيني (مرجع ٢٢)

و كنتيجة لذلك تقل قاعدية الخرسانة إلى أقل من المستوى المطلوب لتوفير الحماية السلبية للأسياخ (أقل من ١٠) ، ولأن التحول الكربوني نتيجة للتفاعل مع ثاني أكسيد الكربون الموجود بالهواء فهو يبدأ من السطح إلى الداخل - انظر شكل (٢٥ / ٤) .

ويعتمد معدل التحول الكربوني على عدة عوامل ، منها : الرطوبة ونفاذية الخرسانة ووجود شروخ سطحية بها ، ويقل هذا المعدل كلما ازداد التغلغل داخل الخرسانة حيث يقاوم الغطاء الخرساني - حتى بعد تحوله كربونيا - تغلغل ثاني أكسيد الكربون داخل الخرسانة ، ويكون معدل التغلغل أسرع عند الأركان وعند الشروخ السطحية - انظر شكل (٢٦ / ٤) .



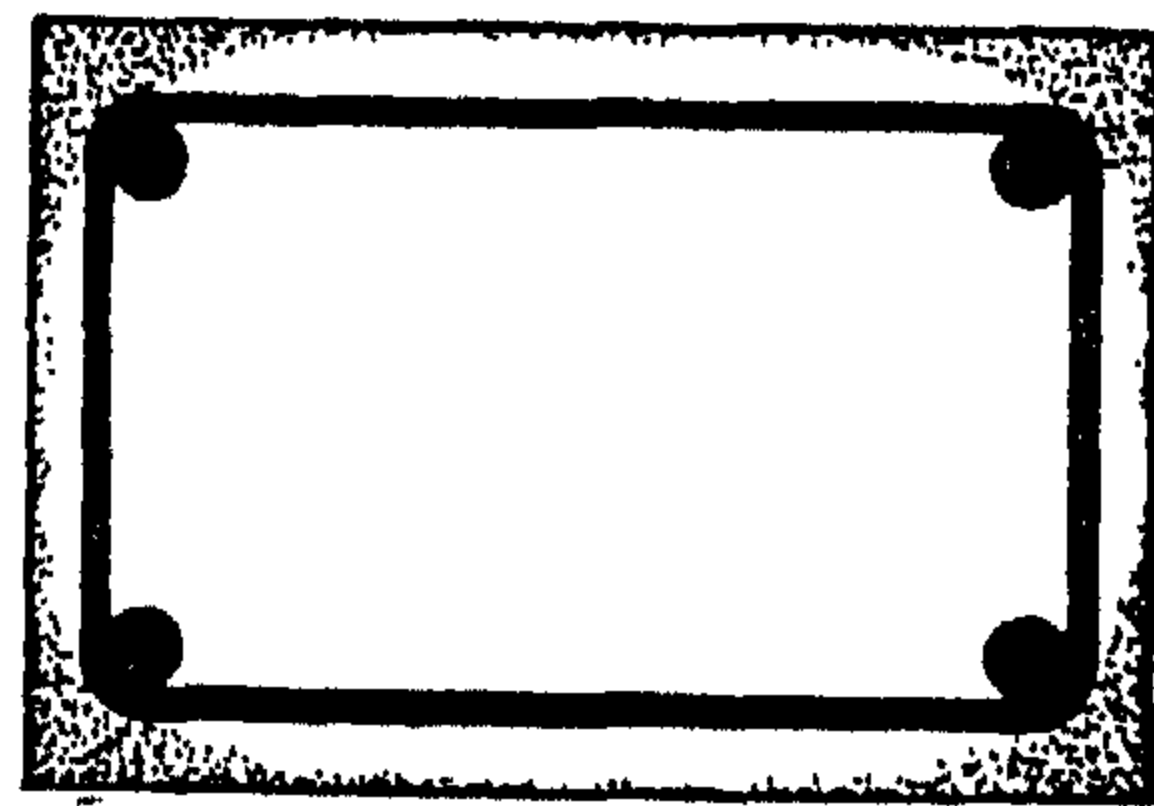
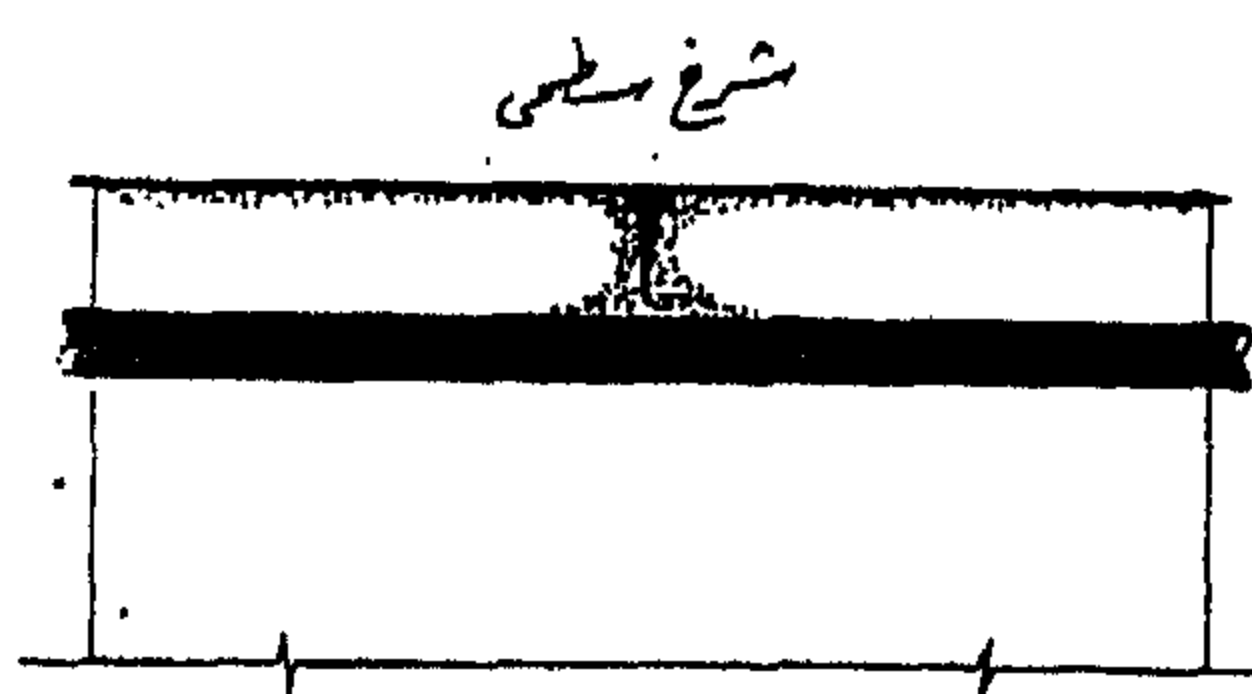
ب، أسياخ التسليح فقدت الطبقة الحامية

٢- بداية التحول الكربوني

شكل (٢٥ / ٤) بداية التحول الكربوني من الخارج إلى الداخل

ت، ثنائي أكسيد الكربون يتغلغل عند الشروخ

١- التحول الكربوني أسرع عند الأركان



شكل (٢٦ / ٤) التحول الكربوني أسرع عند الأركان والشروخ

وحساب عمق التحول الكربوني هام لمعرفة مدى توفر حماية سلبية لأسياخ التسليح ،
لأن وصول التحول الكربوني إلى الأسياخ يعنى بدء تعرضها للصدأ ، وهناك طريقة
تقريبية لحساب هذا العمق على أساس المعادلة الآتية (٢٠) :

$$\text{العمق (ع)} = \text{ثابت (أ)} \times \sqrt{\text{الوقت (ت)}}$$

وتعتمد قيمة هذا الثابت على نفاذية الخرسانة والتي تعتمد بدورها على :

١ - نسبة الماء : الأسمنت (م / س) . ٢ - المقاس الحبيبي للركام .

٣ - محتوى الأسمنت . ٤ - معالجة الخرسانة .

٥ - نوع الأسمنت . ٦ - الرطوبة .

كما تعتمد على محتوى ثانى أكسيد الكربون في الجو المحيط .

ويمكن تقدير قيمة هذا الثابت من المعادلة :

$$أ = \frac{٤٦ (م / س) - ١٧,٦}{٢,٧} \times س \times ج$$

حيث م / س : نسبة الماء إلى الأسمنت (أقل من ٠,٦) :

س : نوع الأسمنت .

س = ١,٠ للأسمنت البورتلاندى العادى (درجة أولى) (٢٠) .

س = ٠,٦ للأسمنت البورتلاندى العادى (درجة ثانية) (٢٠) .

س = ١,٤ للأسمنت الذى يحتوى خبث الحديد بنسبة ٣٠ - ٤٠ ٪ تزداد إلى

٢,٢ إذا زادت الخبث إلى ٦٠ ٪

ج = تأثير الجو المحيط من حيث الرطوبة .

ج = ٠,٣ للخرسانة المبللة .

ج = ٠,٥ للخرسانة المعرضة للجو الخارجى .

ج = ١,٠ للخرسانة الأعضاء الداخلية .

ويؤثر في معادلة تحديد عمق التحول الكربوني وجود شروخ أو تعشيش في سطح الخرسانة ، حيث يزداد معدل التحول الكربوني في هذه الحالة عن معدل تحول خرسانة سليمة ، ولا يظهر في معادلة تحديد قيمة الثابت (أ) درجة تركيز ثاني أكسيد الكربون في الجو المحيط وهو عادة يكون داخل المبنى أكبر من خارجه - فقد تصل درجة التركيز داخل المبنى إلى ثلاثة أضعاف درجة التركيز خارجه .

وتأثير جودة الخرسانة على عمق التحول الكربوني كبير جدا ، كما يظهر من جدول (٤ / ٢) الذى يعطى قيما لأعضاء خرسانية معرضة لجو خارجى جاف :

عمق التحول الكربوني (مم)				مقاومة الخرسانة
بعد عامين	بعد خمسة أعوام	بعد عشرة أعوام	بعد خمسين عاما	بعد ٢٨ يوما
٥	٨	١٢	٢٥	٢٠٠ كجم / سم ٢
٠,٥	١	٢	٤	٤٠٠ كجم / سم ٢

جدول (٤ / ٢) عمق التحول الكربوني مع الوقت

ويظهر من هذا الجدول أن الخرسانة الجيدة غير المنفذة للماء لا يحدث لها تحول كربوني إلا في حدود طبقة سطحية جدا (عدة ملليمترات) حتى عندما يصبح المبنى قديما ، ولكن الخرسانة الرديئة المنفذة للماء يحدث لها تحول كربوني بعمق يصل إلى عشرة أضعاف عمق التحول في الخرسانة الجيدة .

ويؤخذ في الاعتبار أن هذه القيم لأعضاء خارجية وأن معدل التحول الكربوني للأعضاء الداخلية قد يصل إلى ثلاثة أضعاف هذا المعدل إذا كانت نسبة تركيز ثاني أكسيد الكربون داخل المبنى أعلى من نسبته خارجه ، أما في حالة عدم وجود ثاني أكسيد الكربون داخل المبنى فإن صدأ الأعضاء الداخلية يكون بطيئا جدا بالنسبة لمعدل صدأ الأعضاء الخارجية .

وفي قسم ٤ / ٤ / ١ بالباب السابع حسابات تفصيلية لمعدل التحول الكربوني لبلاطة ذات غطاء خرساني ١,٥ سم ، وأخرى ذات غطاء خرساني أكبر (٣ سم) ، وكذلك حساب معدل الصدأ بعد وصول التحول الكربوني إلى أسياخ التسليح ، ومن هذه

الحسابات يتضح أن فترة وصول التحول الكربوني للأسياخ أطول كثيرا من الفترة التي يستغرقها صدأ الأسياخ إلى أن تتساقط الخرسانة السطحية .

ولذا ففي حالات الصدأ الناتج عن التحول الكربوني فإنه يجب التفرقة بين مرحلتين :

المرحلة الأولى :

وهي من تاريخ صب الخرسانة وحتى وصول التحول الكربوني إلى الأسياخ ، حيث تفقد الحماية السلبية التي توفرها لها قاعدية الخرسانة فيبدأ الصدأ .

المرحلة الثانية :

حيث يتطور الصدأ بمعدل يختلف من حالة إلى أخرى (من ٠,٠١٥ - ٠,٠٩ مم / سنة .

ولذا فعند التصدي لتحديد مدى خطورة الصدأ الناشئ عن التحول الكربوني في عضو ما ، فإن التفرقة بين الفترة اللازمة لكي يبدأ الصدأ والفترة التي يتطور فيها الصدأ ضرورية جدا ، فبداية الصدأ قد تستغرق وقتا طويلا إذا كانت الخرسانة جيدة وغير منفذة للرطوبة ، أما معدل الصدأ فقد يكون أسرع كثيرا ، ولذلك فسقوط جزء صغير من الخرسانة السطحية بكمرة ما أو بلاطة (spalling) بعد عشرين عاما - مثلا - لا يعنى أن نتوقع سقوط جزء آخر بعد عشرين عاما أخرى .

ووجود درجة معينة من الرطوبة ضرورى لحدوث التحول الكربوني ، كما هو واضح في معادلة التفاعل في أول هذا الجزء ؛ لأن التفاعل لا يحدث في صورة غاز يتفاعل مع جسم صلب ، وإنما يحدث في صورة غاز ذائب في غلالة من الماء يتفاعل مع قلوبات ذائبة ، ويحدث التحول الكربوني بسرعة في الأوساط التي تتراوح رطوبتها بين ٥٠ - ٧٥ ٪ ، فعند نسبة رطوبة أقل من ٥٠ ٪ لا تتكون غلالة الماء على أسطح الفجوات الموجودة بسطح الخرسانة ، وعند نسبة رطوبة أعلى من ٧٥ ٪ تصبح هذه الفجوات مملوءة بالماء ، مما يعوق تغلغل ثاني أكسيد الكربون في الخرسانة .

وتحدث عملية مشابهة للتحول الكربوني في وجود ثاني أكسيد الكبريت في الجو المحيط بالأعضاء الخرسانية وتسمى عملية التحول الكبريتي ، وتسبب أيضا نقص قاعدية الخرسانة المحيطة بأسياخ التسليح ، وإذا حدث تحول كربوني وكبريتي معا فإن ذلك سيؤدي إلى زيادة - وإن كانت بسيطة - في سرعة فقد الخرسانة لقاعديتها ، ولهذا يوصى

بزيادة الغطاء الخرساني لصلب التسليح في الأجواء الملوثة بالكبريتات .

جـ- الكلوريدات (chlorides) :

صدأ الحديد نتيجة وجود كلوريدات داخل خلطة الخرسانة أخطر وأصعب في إصلاحه من الصدأ نتيجة التحول الكربوني ، لأنه بينما يمكن منع حدوث مزيد من التدهور في الأعضاء التي تحولت خرسانتها السطحية كربونيا فلا توجد وسيلة فعالة لمنع التدهور في حالة وجود تركيز عال من الكلوريدات داخل خلطة الخرسانة ، إلا إزالة الخرسانة المعيبة تماما من حول أسياخ التسليح .

وتعتبر أيونات الكلوريدات (chloride ions) من أكثر المواد شيوعا التي تدمر الحماية السلبية لصلب التسليح داخل الخرسانة ، وهذه الكلوريدات من الممكن أن تكون موجودة في الخرسانة من لحظة خلطها - مصادرها الركام أو ماء الخلط أو الإضافات المحتوية على كلوريد الكالسيوم - أو تصل إلى الخرسانة بعد استعمال المنشأ - مصادرها مياه البحر أو المياه الجوفية أو أملاح إذابة الجليد - ووجود الكلوريدات - أيا كان مصدرها - في الخرسانة يؤدي إلى تنشيط عملية الصدأ ولو كانت قاعدية الخرسانة ما زالت مرتفعة .

والكلوريدات التي تغلغل في الخرسانة من الخارج أشد فاعلية في التأثير على صلب التسليح من الكلوريدات الموجودة داخل الخلطة ، وذلك لأنه في داخل الخلطة فإن بعض الكلوريدات ستجتمع - وإن كان تجمعا ضعيفا - من البلورات الناتجة عن إمالة الخرسانة ، أما باقى الأيونات فستبقى ذائبة في الماء الموجود بالفراغات وحررة الحركة أى نسبة أكبر من الكلوريدات ستكون مقيدة إذا كانت هذه الكلوريدات موجودة في مكونات الخلطة أصلا ، ولذا فإنه لنفس كمية الكلوريدات في الخرسانة فإن أيونات الكلوريدات تصبح أشد فاعلية في مهاجمة الحديد إذا كانت قد تغلغلت في الخرسانة من الخارج .

وتقوم أيونات الكلوريدات الحرة - الموجودة في الماء داخل فراغات الخرسانة - بمهاجمة صلب التسليح وتسبب له الصدأ ، وميكانيكية التفاعلات الكيميائية في هذه الحالة معقدة إلى حد كبير ، ولكن يمكن القول ببساطة أن أيونات الكلوريدات قادرة على

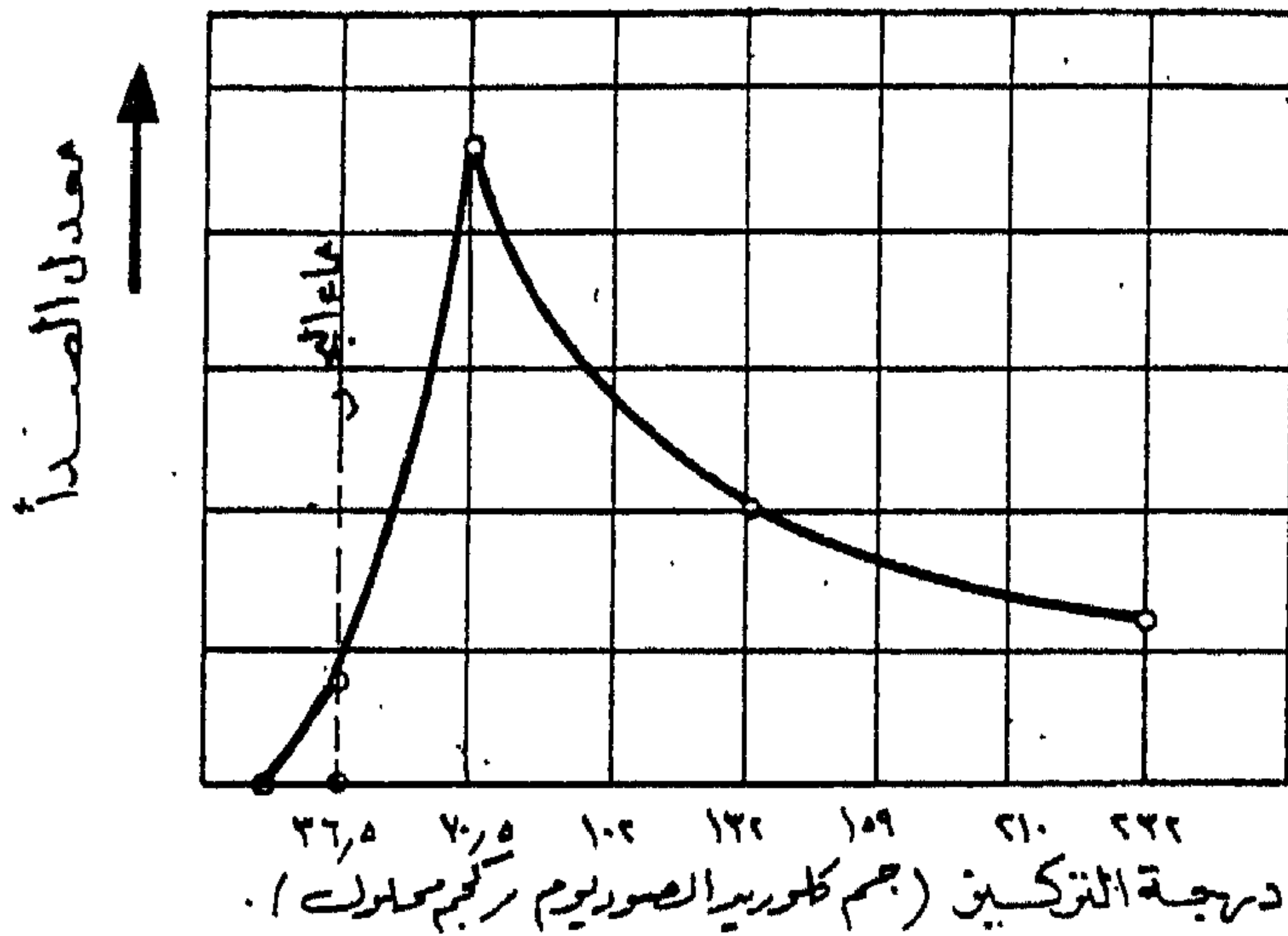
تعطيل التفاعلات الحادثة على سطح حديد التسليح والتي توفر له الحماية السلبية حتى وإن كانت قاعدية الخرسانة ما زالت عالية ولم يحدث لها تحول كربونى ، أما فى حالة حدوث تحول كربونى فإن قيما أقل من الكلوريدات ستدمر الحماية السلبية للحديد وسيصبح معدل الصدأ أسرع .

وتحتوى المواصفات المصرية الجديدة ^(١٨) - وكذلك المواصفات العالمية - على حدود عليا لدرجة تركيز أيونات الكلوريدات فى الخرسانة المسلحة من كل المصادر : ركام ، أسمنت ، ماء ، إضافات .

وهى موجودة فى قسم (٢ / ٥) من الباب السابع ، والملاحظ أنه فى الفترة الأخيرة تم تقليل القيم المسموح بها فى المواصفات العالمية والخاصة بنسبة تركيز الكلوريدات فى الخرسانة ، وذلك فى ضوء التجارب والخبرة المتاحة ، بحيث أصبحت القيم المسموح بها الآن أقل بكثير من القيم التى كان يسمح بها سابقا .

ومنع الكلوريدات من التغلغل فى الخرسانة يعتمد أساسا على عدم نفاذية هذه الخرسانة ، كما يعتمد على سمك الغطاء الخرسانى ، ولكن إذا لم يكن سطح الخرسانة معزولا تماما بواسطة طبقة غير منفذة ، فإن الكلوريدات ستغلغل فى الخرسانة السليمة وفى هذه الحالة يكون تركيز الكلوريدات أعلى ما يمكن عند السطح ويقل بسرعة فى عمق الخرسانة ، ومن الصعب تحديد رقم واجد لدرجة تركيز الكلوريدات التى تسبب صدأ الحديد فى كل الحالات ولكن يمكن اعتبار أن درجة التركيز منخفضة إذا كانت أقل من ٠,٤ ٪ من وزن الأسمنت ومتوسطة إذا كانت من ٠,٤ إلى ١ ٪ وعالية إذا كانت أكبر من ١ ٪ ^(٢١) ، أما إذا لم يكن وزن الأسمنت فى الخلطة معلوما وتم حساب درجة تركيز الكلوريدات بالنسبة لوزن الخرسانة ، فإن أقل من ٠,٠٥ ٪ يمكن اعتبارها درجة تركيز غير خطيرة ، ومن ٠,٠٥ إلى ٠,١٥ ٪ تعتبر الخطورة متوسطة ، أما أكثر من ٠,١٥ ٪ من وزن الخرسانة فهناك خطر على صلب التسليح ، هذا إذا كانت الكلوريدات لم تغلغل فى الخرسانة من الخارج .

أما إذا كان مصدر الكلوريدات خارجياً فتأثيرها أكثر وقد حدث صدأاً لنسبة تركيز أقل من ٠,٠٥ ٪. لما كان مصدر الكلوريدات خارجياً ، أما نظرياً فمعدل الصدأ يزداد مع زيادة تركيز كلوريدات الصوديوم إلى نقطة معينة - ضعف درجة تركيز ماء البحر - ثم يقل بعد ذلك - انظر شكل (٢٧ / ٤) - نظراً لنقص قدرة الأكسجين على الذوبان مع درجات التركيز الأعلى مما يؤثر على معدل الصدأ .



شكل (٢٧ / ٤) علاقة درجة تركيز كلوريد الصوديوم

على معدل الصدأ (مرجع ٢٢)

تقويم حالة الأعضاء الخرسانية المعرضة للصدأ :

من التحليل السابق يمكن تقسيم حالة صلب التسليح في أى عضو خرساني بالنسبة للصدأ إلى أربع حالات - انظر شكل (٢٤ / ٤) - :

١ - « سلبى » : حيث يكون صلب التسليح محمياً من الصدأ عن طريق طبقة رقيقة من الأكسيد المترسبة فوقه - وهذه الحماية فى حالة اتزان فى جو قاعدى داخل الخرسانة - الأس الهيدروجينى (PH) لا يقل عن ١٠ .

٢ - « يصدأ كله » : حيث يصدأ الضلب الموجود على سطح السيخ بانتظام نتيجة ضعف

القاعدية - بسبب التحول الكربوني أو الأحماض - أو نتيجة تغلغل الكلوريدات من الخارج ووصولها إلى أسياخ التسليح ، ومعدل الصدأ في هذه الحالة يعتمد على جودة الخرسانة ونفاذيتها ، كما يعتمد على درجة رطوبة وحرارة الجو المحيط بالعضر ، وفي حالة عدم وجود ظروف مواتية للصدأ فيمكن أن يستمر الصدأ ببطء ولسنين عديدة قبل تلاحظ على العضو أعراض الصدأ .

٣ - « يصدأ بعضه » : حيث يحدث صدأ سريع في عدة مواضع منفصلة من السبيخ نتيجة وجود كلوريدات داخل الخرسانة أو نتيجة وجود شروخ سطحية تصل إلى الأسياخ .

٤ - « غير محمي ولكنه لا يصدأ » : لتوفير المناعة بسبب كهربائي ، حيث الأسياخ في خرسانة مشبعة بالماء ، بحيث لا يوجد أكسجين يكفي لحدوث التيار الكهربائي اللازم للصدأ وذلك رغم فقد قاعدية الخرسانة ، وفي هذه الحالة يقال إن الصدأ ممنوع من الحركة بسبب نقص الأكسجين اللازم لدفع التفاعل في منطقة القطب السالب - انظر شكل (٤ / ٢٢) - فلا يحدث التيار الكهربائي ولا يحدث الصدأ ، ولكن يجب ملاحظة أن الغمر في الماء إذا أصبح جزئيا فإن الصدأ ممكن أن يحدث وبسرعة في الجزء غير المغمور في الماء ، ويحدث نقص كبير في مقطع أسياخ التسليح بدون تكون نواتج الصدأ ذات اللون البني المعروف وبدون سقوط للخرسانة .

د - وجود شروخ بالخرسانة :

تعتبر الشروخ منفذا سهلا للأكسجين والرطوبة والكلوريدات ، ولذا فإن الشروخ السطحية الموازية للأسياخ يمكن أن تسهل عملية الصدأ والتي ستؤدي بدورها إلى حدوث شروخ جديدة ... وهكذا ، وقد يكون سبب هذا الشروخ الانكماش اللدن أو الهبوط اللدن ، وهي شروخ تحدث على أسطح البلاطات ، وفي الحالات التي تكون فيها هذه الأسطح معرضة للأملاح تصبح هذه الشروخ مخزنا للتلوث قريبا من الحديد العلوي ، والأخطر من ذلك الفجوات التي تحدث تحت أسياخ التسليح عندما يحدث إدماء للخرسانة ويحدث لها هبوط لدن - انظر شكل (٤ / ٤ - ب) بالباب الرابع - هذه الفجوات يصعب جدا العثور عليها كلها وتشكل مصدرا دائما للرطوبة وسببا قويا للصدأ ؛ لأن حماية أسياخ التسليح تعتمد على تغطية الخرسانة لسطح السبيخ بأكمله ، والحل الأمثل

فى مثل هذه الحالات هو تجنب حدوث هذه الفجوات أصلاً بالتأكد من أن خواص الخرسانة مناسبة لطريقة صبها ومعالجتها ، وهذا الأمر هام جداً لمنع حدوث الصدأ .

أما الشروخ العمودية على اتجاه التسليح فلا تتسبب عادة فى استمرار عملية الصدأ إذا كانت الخرسانة كثيفة (Dense) ومساميتها ضعيفة ، وسبب ذلك أن الجزء المكشوف من السيخ عند الشرخ يتصرف كما لو كان قطبا موجبا (Anode) ، ولكن يلزم توافر الظروف التى تكون القطب السالب وتسمح بمرور الإلكترونات بينهما ، أى أنه يلزم توفر الأكسجين والرطوبة لأجزاء أخرى من نفس السيخ أو الأسياخ الأخرى المتصلة به اتصالا مباشرا أو كهربيا - عن طريق الكانات أو الكراسى - لكى يحدث الصدأ ويستمر ، فإذا كانت مسامية الخرسانة قليلة وسمك الغطاء الخرساني كبيرا للحد الكافى لوقف تدفق الأكسجين والرطوبة ، فإن عملية الصدأ ستبطئ ويمكن أن تتوقف كلية (٢٢) ، ولهذا السبب وجد كثير من الباحثين أن عرض الشرخ له تأثير كبير على الصدأ فى البداية - كلما زاد اتساع الشرخ كلما زاد معدل الصدأ ؛ لأن مساحة أكبر من السيخ تفقد طبقتها الحامية السلبية - ولكن تأثيره ليس كبيرا على المدى الطويل - عشر سنوات أو أكثر .

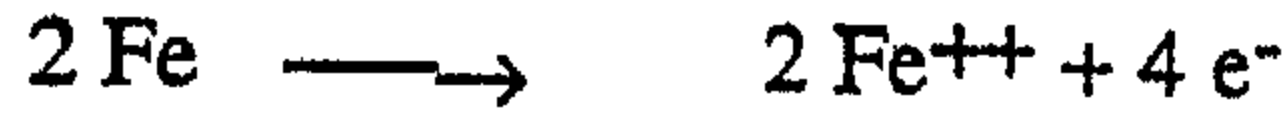
ولكن الشروخ الطولية الموازية للأسياخ تؤدي إلى استمرار عملية الصدأ ؛ لأن الطبقة الحامية السلبية تفقد عند أماكن كثيرة من السيخ ، فإذا كانت الأسياخ قريبة من السطح الخارجى للمبنى فإن توفر الأكسجين والرطوبة يكون أكثر - وخاصة على السواحل وفى البلاط المطيرة - ولذا يكون معدل الصدأ أكبر .

كيف يحدث الصدأ ؟

صدأ الحديد - أو أى معدن - هو عملية كهروكيميائية تحدث عند السطح الفاصل بين صلب التسليح والخرسانة ، وتحتاج إلى عامل مؤكسد - الأكسجين - ورطوبة وتيار من الإلكترونات يسرى من قطب موجب إلى قطب سالب فى المعدن ، ويجب توفر الوسط الذى ينقل التيار الكهربى من القطب الموجب إلى السالب وهو عادة ماء أو محلول مائى به أملاح ذائبة ، وتحدث فى هذه العملية مجموعة من التفاعلات الكيميائية على النحو التالى - انظر شكل ٤ / ٢٢ - ب - :

١ - يذوب الحديد من القطب الموجب على هيئة أيونات الحديدوز $[Fe]^{++}$

حسب التفاعل :



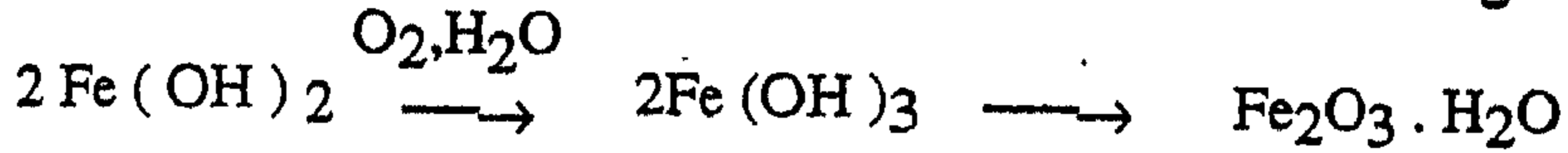
٢ - تنتقل الإلكترونات المتولدة من التفاعل السابق $- [4\text{e}]$ فى سيخ الحديد إلى منطقة القطب السالب ، حيث تتفاعل مع الأكسجين والماء مكونة أيونات الهيدروكسيل $(\text{OH})^{-}$ حسب التفاعل :



٣ - عند تقابل نواتج التفاعلين - أيونات الحديدوز مع أيونات الهيدروكسيل - يترسب هيدروكسيد الحديدوز وفقاً للتفاعل :

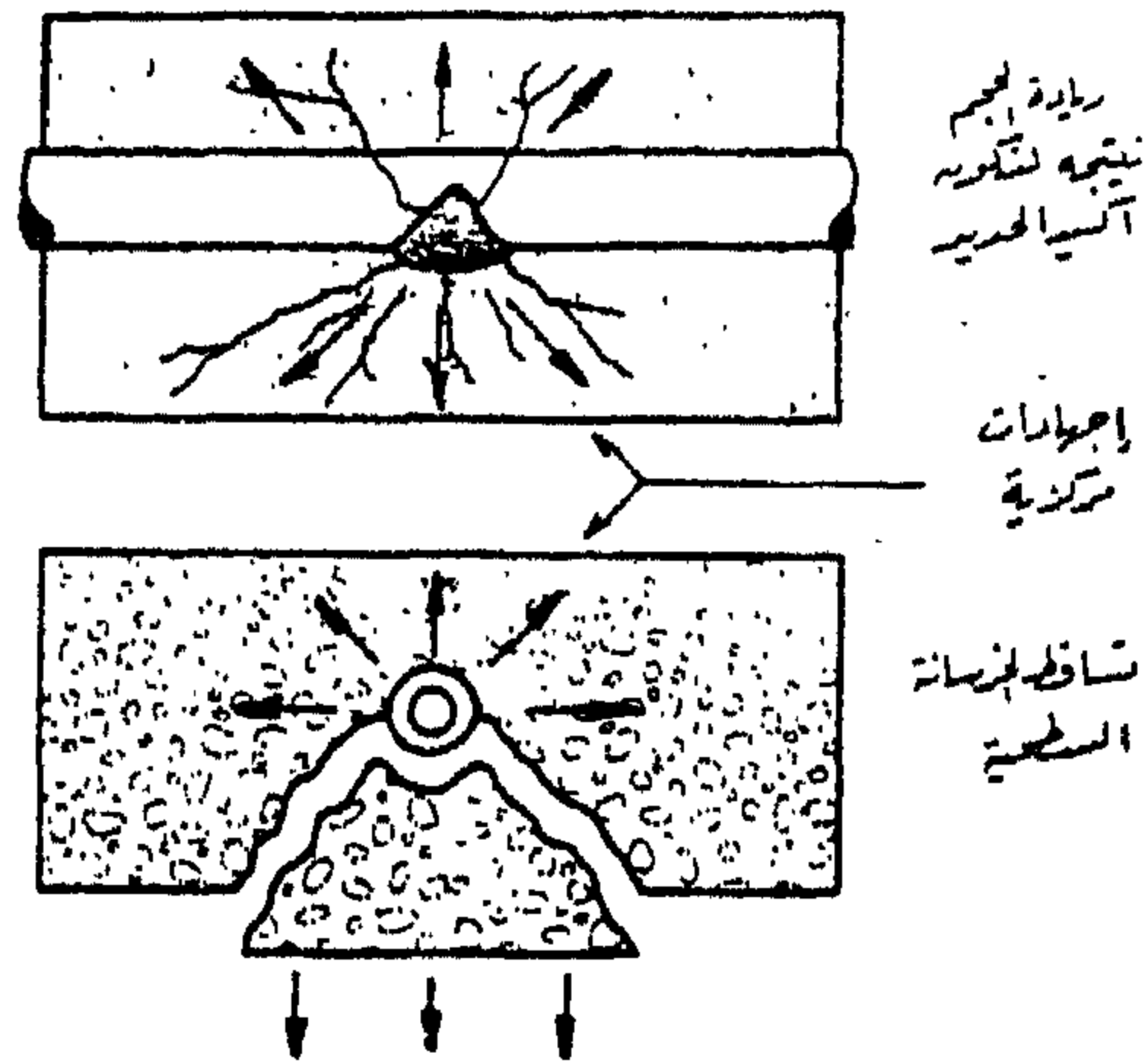


٤ - يتأكسد هيدروكسيد الحديدوز الناتج بفعل الأكسجين والماء إلى أيدروكسيد الحديدك - تفاعل ثانوى - الذى يتحلل مكوناً صدأ الحديد - أكسيد الحديد - طبقاً للتفاعل :

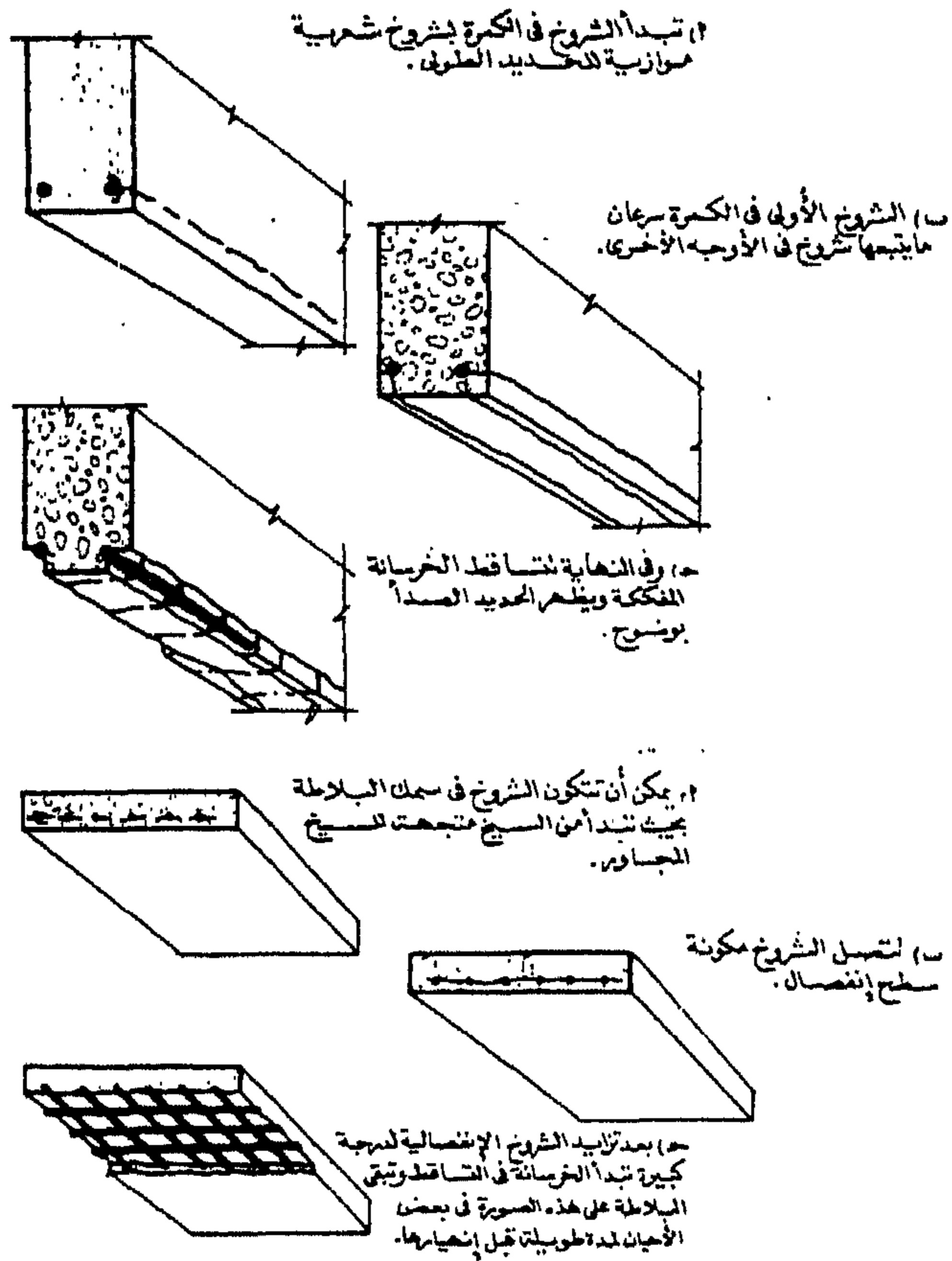


ويعتبر أكسيد الحديد الناتج شديد الامتصاص للماء وضعيف الالتصاق بالحديد ، وبذلك يسهل إزالته بالذوبان البطئ تاركاً سطح الحديد ليسمح بتكون صدأ جديد ، ويمكن عن طريق قياس التيار الكهربائى فى أسياخ الحديد الصدأ معرفة الصدأ فى الأسياخ التى يصعب الكشف عليها ، وهذا يساعد على تحديد درجة خطورة المنشآت الخرسانية المعرضة للصدأ .

وهيدروكسيد الحديد الناتج يزيد حجمه عن حجم السليخ الأصلية زيادة كبيرة ، مما يؤدى إلى تولد إجهادات انفصالية دائرية عالية حول أسياخ التسليح ، تؤدى إلى شروخ دائرية محلية - انظر شكل (٢٨ / ٤) ، (٣٠ / ٤) - وهذه الشروخ الانفصالية يمكنها الامتداد بطول السليخ مكونة شروخاً طولية موازية للأسياخ - شكل (٢٩ / ٤ ب) ، وشكل (٣٠ - ٤) بملحق الألوان - وعند زيادة الصدأ عن ذلك تبدأ الخرسانة السطحية فى التساقط - شكل (٢٩ / ٤ - ج) ، وشكل (٣١ / ٤) بملحق الألوان - كما يمكن حدوث شروخ عريض عند مستوى مجموعة من الأسياخ القريبة من السطح مما يؤدى إلى انفصال السطح إلى طبقات ، وهى مشكلة معروفة فى الكبارى .



شكل (٢٨/٤) تولد إجهادات انفصالية نتيجة صدمة الصلب



شكل (٢٩/٤) مراحل تدهور الخرسانة نتيجة صدمة الصلب

أشكال شروخ الصدأ :

بالإضافة إلى بقع الصدأ ذات اللون البنى التى تظهر على الأسطح الرأسية للكمرات والأعمدة أو على بطنية الكمرات والبلاطات - شكل (٤ / ٣٢) بملحق الألوان - فإنه يمكن التعرف على حدوث الصدأ بشروخ شعرية تظهر على أسطح الخرسانة فوق حديد التسليح مباشرة - أشكال (٤ / ٢٩) ، (٤ / ٣٠) ، (٤ / ٣٣) ، بملحق الألوان - ويعنى شرح كهذا أن صدأ الحديد قد وصل إلى مرحلة متقدمة لدرجة حدوث تمدد أدى إلى شروخ انفصالية فى الخرسانة ، ولكن يجب الأخذ فى الاعتبار أن الخرسانة مادة مقاومة للإجهادات الشد قليلة ويكفى قدر ضئيل من الصدأ لإحداث الشروخ بها ، وفي هذه الحالة عند الكشف على صلب التسليح قد نجد أن الصدأ غير ظاهر به ويبدو كما لو كان لم يصدأ بعد ، ولكن كون الخرسانة ظهرت بها شروخ موازية لحديد التسليح وفوقه مباشرة فهذا يعنى فى معظم الأحوال أن معدل الصدأ قد وصل إلى درجة شئب متاعب جمّة ، ويصبح ظهور مزيد من التدهور مسألة وقت يطول أو يقصر حسب حالة الخرسانة المتاخمة للأسياخ .

والشروخ التى تقع فوق الحديد مباشرة وموازية له - حتى وإن كانت رفيعة - تكون غالبا نتيجة الصدأ ، وتعنى أن التدهور سيستمر ، وعلى الرغم من ذلك فإن أنواعا أخرى من الشروخ - كشروخ الهبوط اللدن مثلا - التى تصل إلى حديد التسليح تسبب الصدأ وينتج عنها بقع الصدأ البنية اللون ، وإذا لم تكتشف هذه الشروخ بسرعة وينحدد وقت ظهورها ، فبعد مرور بعض الوقت يصبح من الصعب تحديد : هل حدوث الصدأ هو سبب التشريح أم أن الشروخ هى سبب حدوث الصدأ ؟

أما الشروخ التى تتكون فى اتجاه عمودى على أسياخ التسليح فلا تعنى أن هناك صدأ ، وإنما سبب حدوثها إما القيد على الحركة الذى يمنع التقلص الحرارى المبكر أو الانكماش طويل المدى - انظر قسم ٢ / ٣ / ٢ وقسم ٢ / ١ / ٢ - وإما الإجهادات الزائدة على مقاومة الخرسانة والتى تتولد نتيجة أحمال لم تكن مأخوذة فى الاعتبار ، هذه الشروخ لو كانت رفيعة - أقل من ٠,٣ مم - فمن غير المحتمل أن تسبب صدأ للحديد إلا إذا تقابلت مع أسياخ موازية لها .

ويظهر الصدأ فى صورة شروخ موازية للحديد الرئيسى فى البلاطة أو تدهور أشد ، كسقوط الغطاء الخرساني للبلاطة - كما فى شكل (٤ / ٣١) .

كما قد يكون الصدأ واضحاً في الحديد السفلى والكائنات للكمرات - كما في شكل (٣٤ / ٤) ملحق الألوان - أو قد يصل إلى الحديد المكسح والحديد العلوى كذلك - كما في شكل (٣٥ / ٤) - وقد يصل التدهور فى الأعمدة الداخلية نتيجة الصدأ إلى مراحل متقدمة - كما فى أشكال (٣٦ / ٤) وملحق الألوان ، (٣٧ / ٤) ، (٣٨ / ٤) ملحق الألوان - رغم عدم وجود مصدر دائم للرطوبة .

أما الكمرات الخارجية - وخاصة فى المناطق الساحلية - فاحتمال تعرضها للصدأ كبير ، وخاصة إذا لم تكن معزولة - كما فى شكل (٣٩ / ٤) وشكل (٤٠ / ٤) - أو إذا لم يكن العزل منفذا بطريقة سليمة - كما فى شكل (٤٢ / ٤) .

ويحدث الصدأ دائماً دائماً فى المناطق المعرضة لبلل مستمر كبلاطات البلكونات - مصدر البلل هو وجود نباتات زينة تسرب المياه إلى البلاطة باستمرار - أو الموجودة على شواطئ الأنهار أو البخار ولم يتم عزلها - كما فى شكل (٤١ / ٤) وشكل (٤٢ / ٤) ملحق الألوان .

الخلاصة :

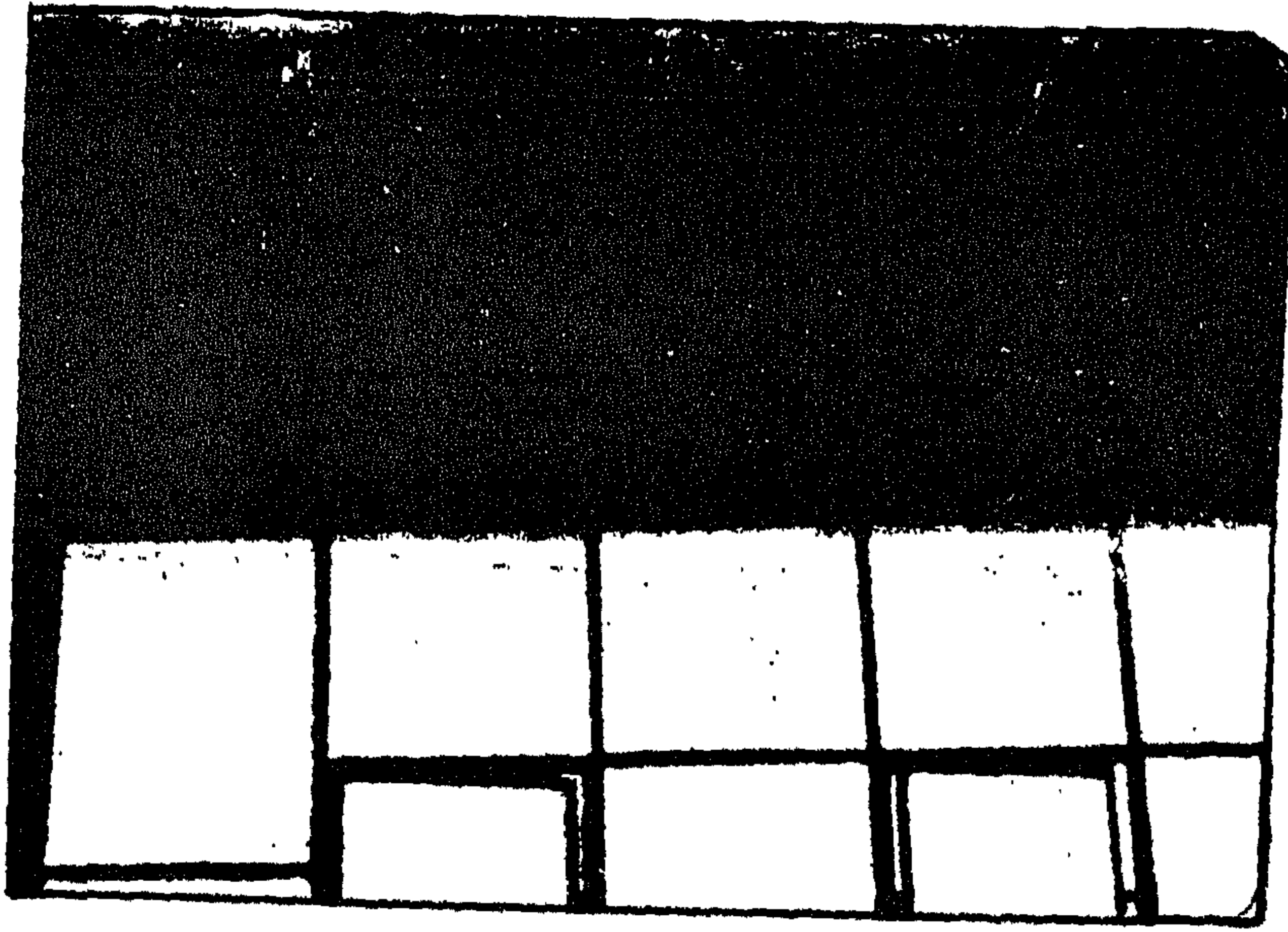
ويمكن تلخيص التحليل السابق فى أن تدهور الخرسانة نتيجة صدأ الحديد يمر بالمراحل الآتية - شكل (٤٣ / ٤) - :

١ - عند تصلد الخرسانة تتكون طبقة حامية سلبية حول أسياخ الحديد نتيجة قاعدية الخرسانة - الأس الهيدروجينى من ١٢,٥ - ١٣,٥ .

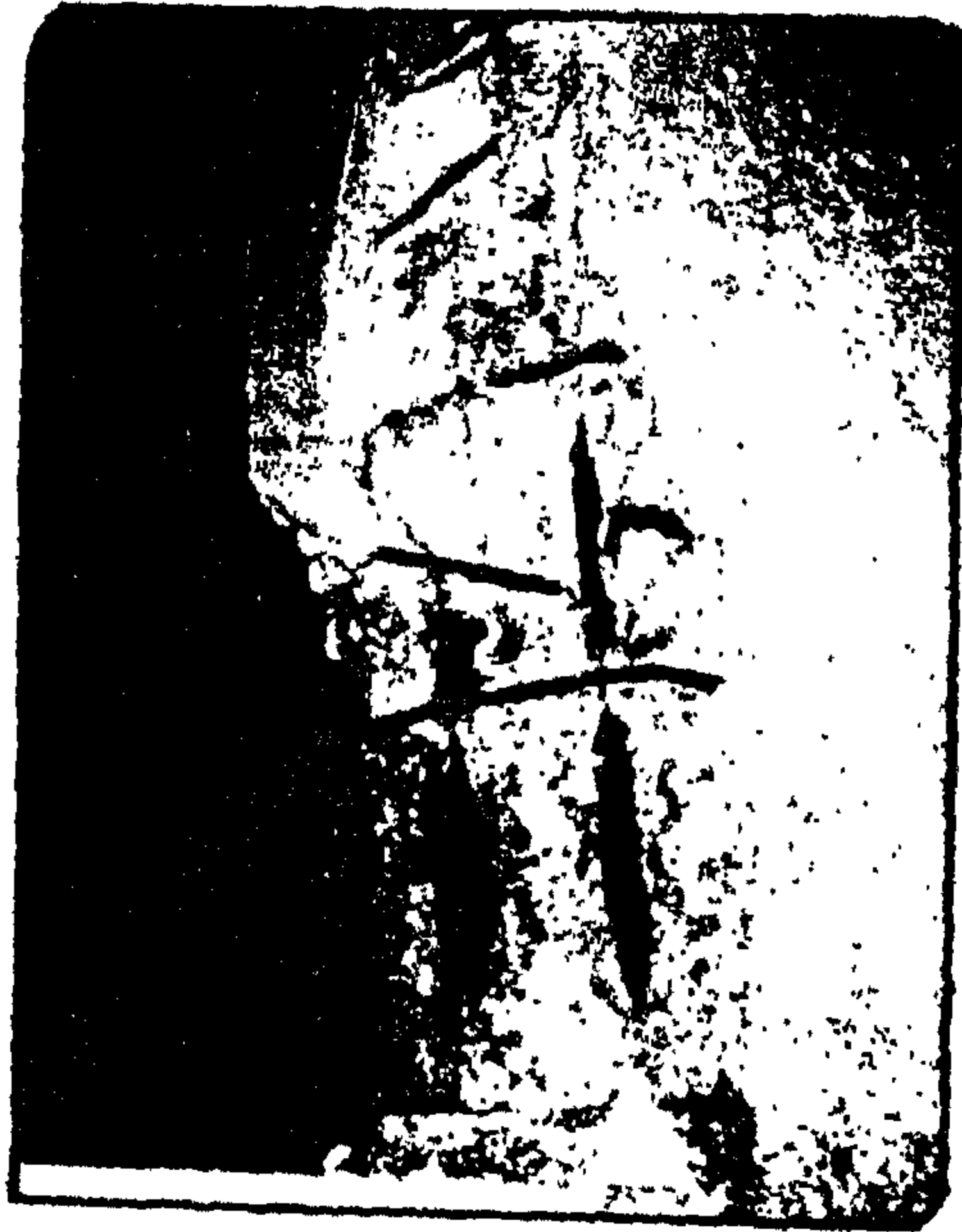
٢ - عندما تقل قاعدية الخرسانة - أقل من ١٠ - تُفقد هذه الطبقة الحامية ، ويصبح السبخ معرضاً للصدأ ، وقاعدية الخرسانة تقل إما لوجود أبخرة حامضية أو لحدوث تحول كربونى للخرسانة السطحية ، أو وجود الكلوريدات ، أو وجود شروخ سطحية بالخرسانة .

٣ - التحول الكربونى يكون بطيئاً جداً فى الخرسانة الجيدة ولكن عدم جودة الخرسانة ونفاذيتها وقلة سمك الغطاء الخرساني ووجود الشروخ السطحية ووجود رطوبة من ٥٠ - ٧٥ ٪ ، تسرع بمعدله .

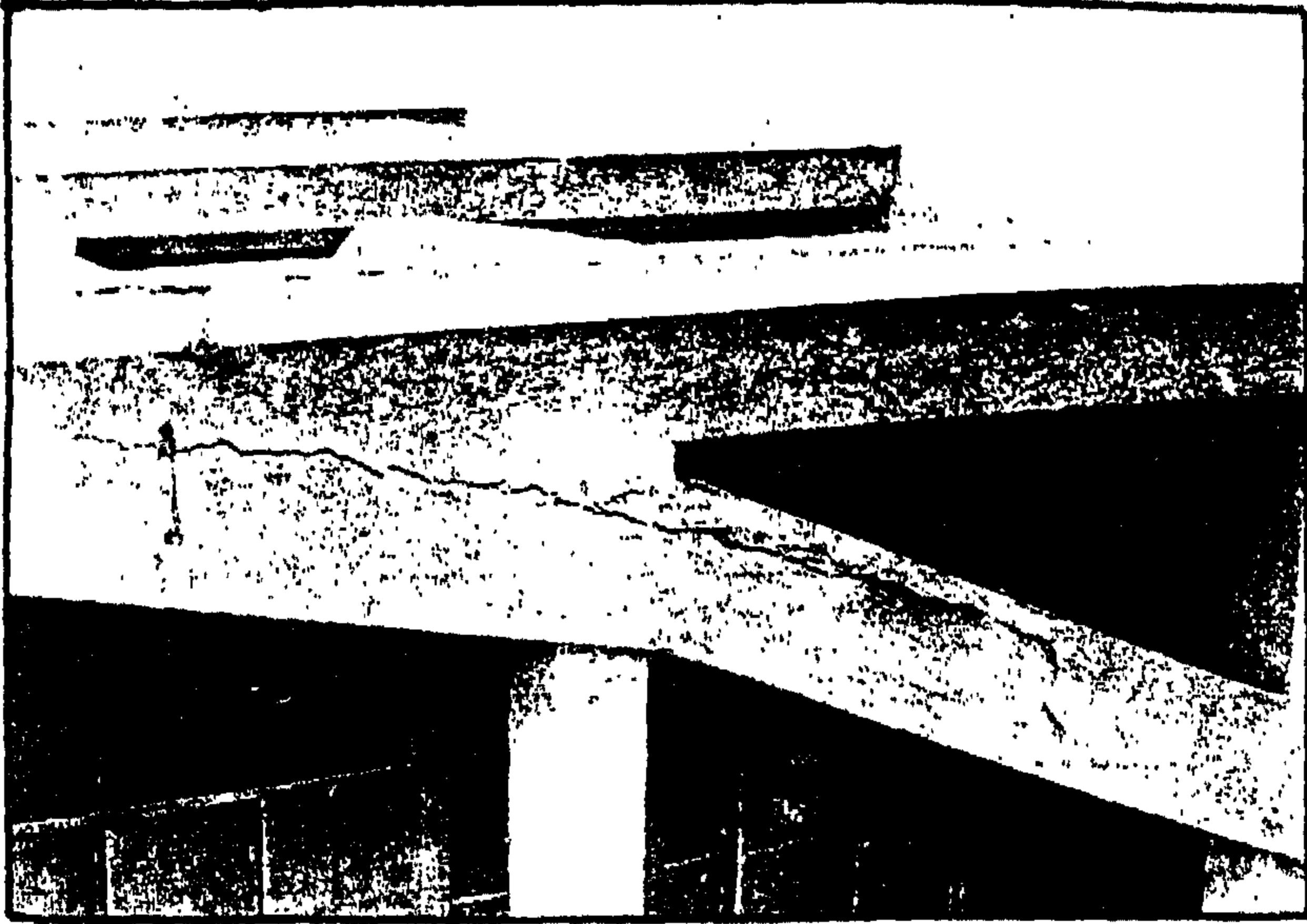
٤ - الكلوريدات تأثيرها على صدأ الحديد يبدأ إذا زاد تركيزها فى الخلطة الخرسانية عن ٠,٣ ٪ من وزن الأسمنت ، ويكون تأثيرها أخطر إذا كانت من مصدر خارجى .



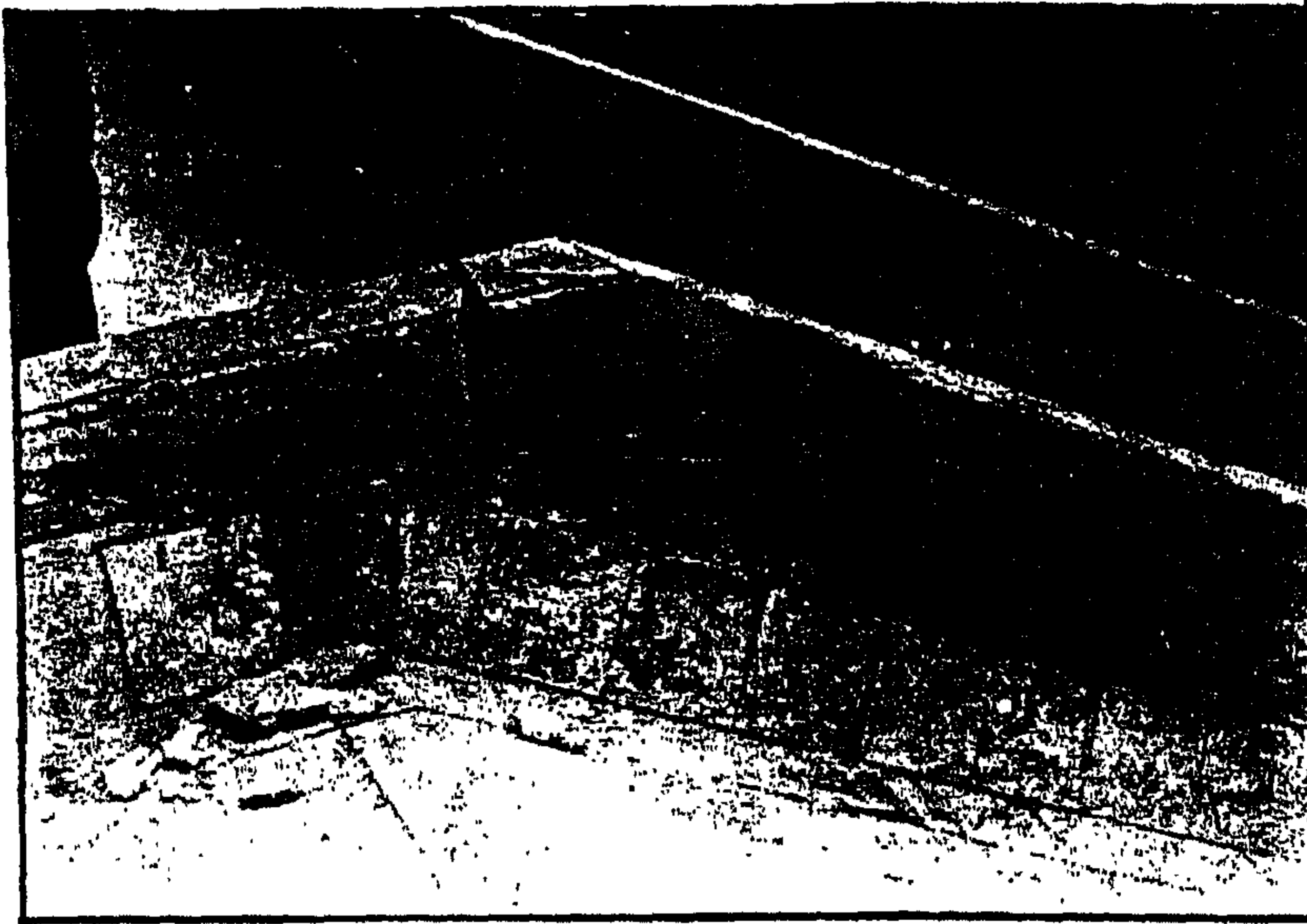
شكل (٣٥/٤) الصدا وصل للحديد المكسح والحديد العلوى



شكل (٣٧ / ٤) فروع صدا الحديد فى عامود
داخلى (احفظ عدم انتظام الكانات)

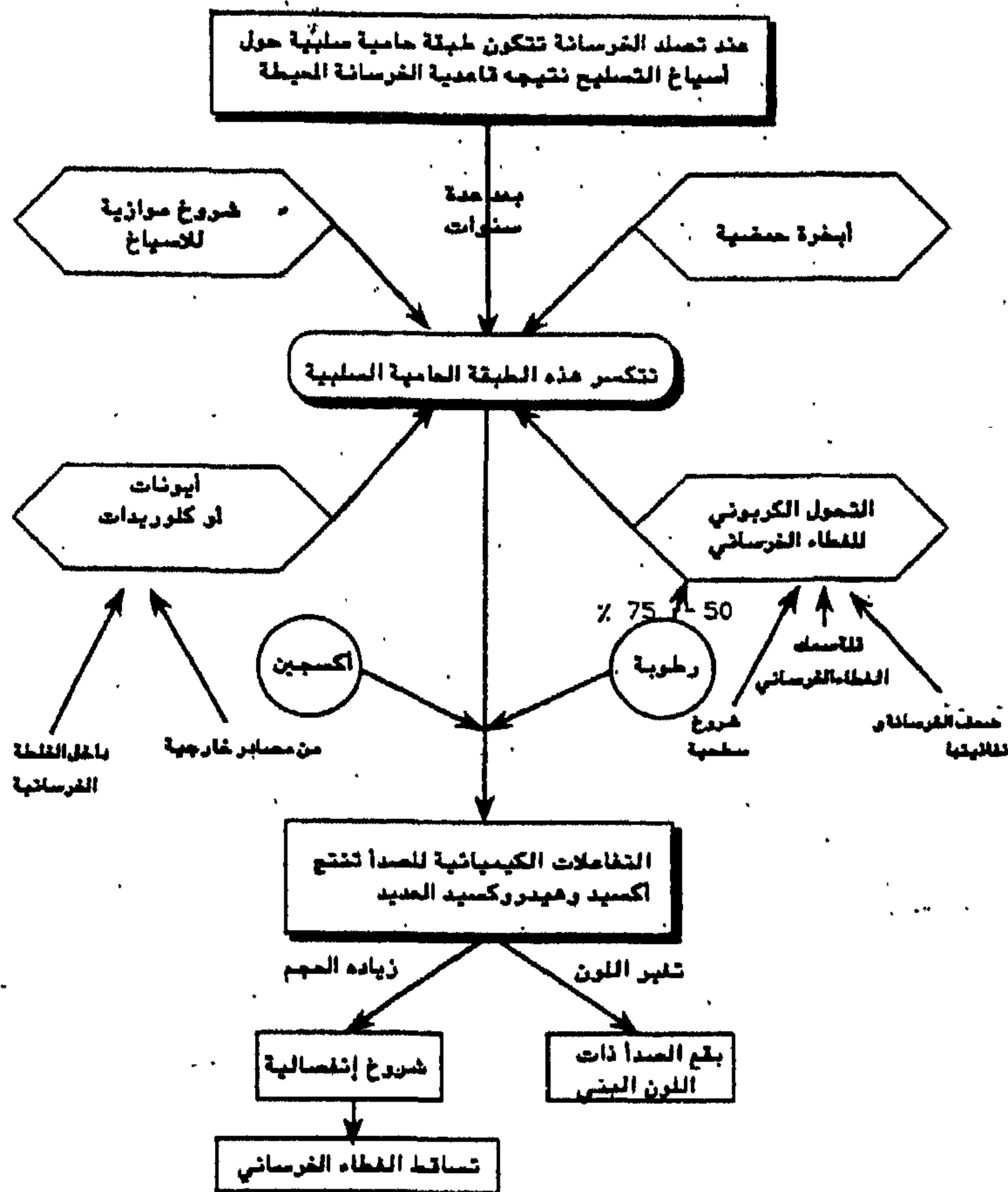


شكل (٣٩ / ٤) شروخ صدأ موازية لأسياخ تسليح عقد خارجي لمصنع



شكل (٤٠ / ٤) شروخ صدأ موازية لحديد تسليح كمره خارجية مقلوبة

- ٥ - يبدأ الصدأ عند توفر الأكسجين والرطوبة ، وتظهر بقع الصدأ ثم تظهر شروخ شعيرية طولية موازية للحديد الرئيسي وفوقه مباشرة .
- ٦ - استمرار عملية الصدأ يؤدي إلى تشريح الغطاء الخرساني ؛ لأن أكسيد الحديد الناتج من الصدأ حجمه أكبر كثيرا من حجم الحديد الأصلي .
- ٧ - كلما ازداد الصدأ كلما زادت الشروخ في الطول والعرض ، ثم تبدأ الخرسانة الخارجية في التساقط وتظهر الأسياخ الصدأة بوضوح .



شكل (٤ / ٤) مراحل تدهور الخرسانة نتيجة صدأ الحديد

٢ / ٣ - شروخ حرارية :

٢ / ٣ / ١ - شروخ التجمد والذوبان : Freezing and thawing cracks :

الوصف :

المواد المسامية المحتوية على رطوبة تكون أكثر عرضة للعطب إذا تعرضت لدورات من التجمد والذوبان بتأثير الصقيع ، وتعتبر مونة الأسمنت المتصلدة - والتي لها درجة عالية من المسامية - أكثر حساسية لمثل هذه الظروف ، ويمكن أن يحدث تدمير للخرسانة في موسم شتاء واحد في أجواء المناطق الشمالية .

وعندما تتعرض الخرسانة المشبعة بالماء لانخفاض درجة الحرارة إلى ما دون الصفر المئوى ، فإن التجمد اللحظى لا يحدث لكل الماء الموجود في مونة الأسمنت ، فلن يتجمد الماء الموجود في الفراغات الشعرية إلا بعد انخفاض درجة الحرارة إلى ما دون الصفر بقيمة تعتمد على قطر هذا الفراغ - وكلما كان الفراغ صغيرا كلما احتاج إلى درجة حرارة أكثر انخفاضا ليتجمد الماء الموجود به .

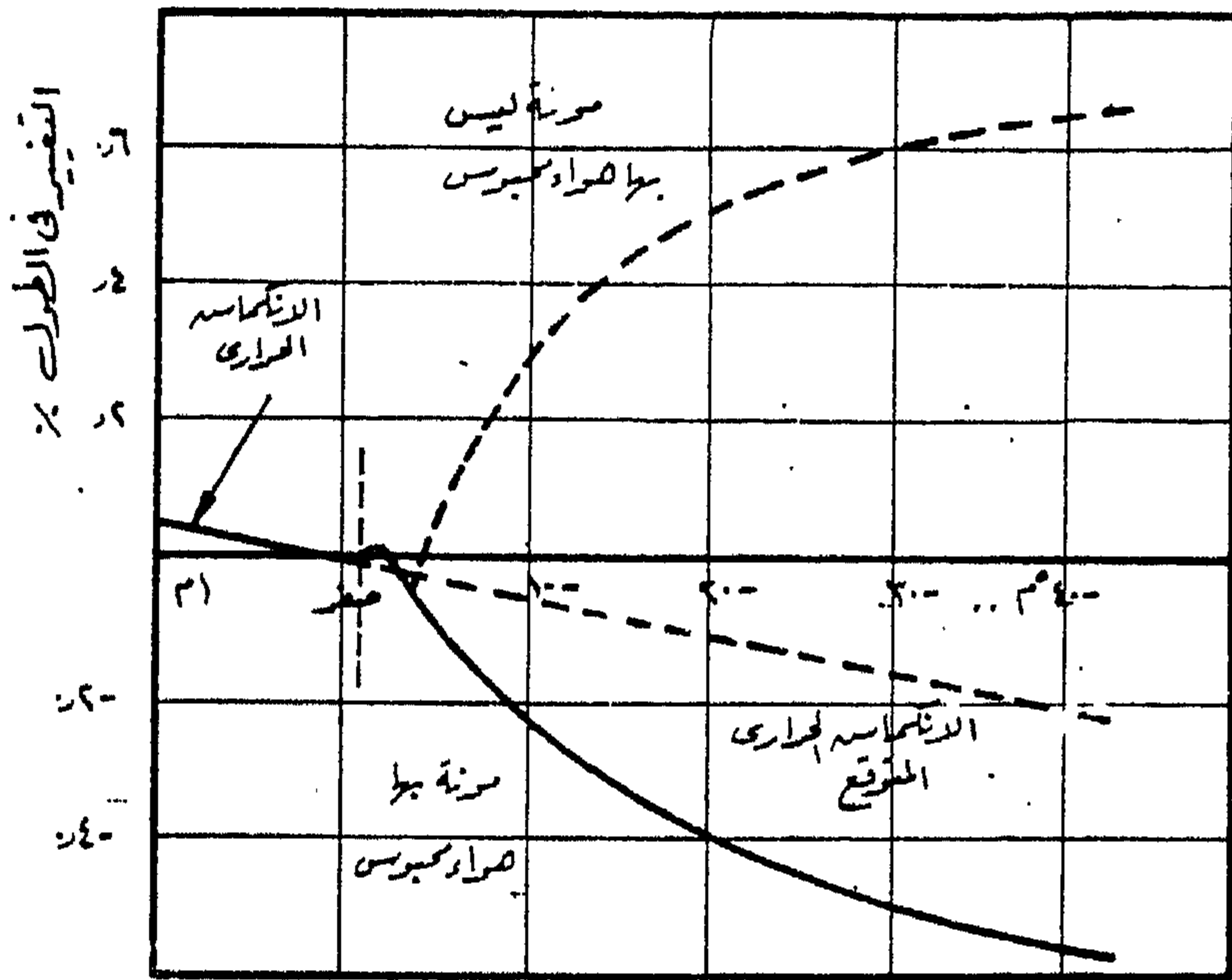
الأسباب :

سبق توضيح ميكانيكية تكون الشروخ في الصقيع في قسم ٣ / ١ / ٤ من الباب الثالث ، ويمكن تلخيصه في أن سبب تشريح مونة الأسمنت المتصلدة المعرضة للصقيع يمكن في حركة الماء إلى المناطق التي تجمد ماؤها كما يمكن في الضغط الهيدروليكي في الفراغات الشعرية ، وتعتمد مقاومة الخرسانة لمثل هذه الشروخ على درجة نفاذيتها للماء ، وكذلك درجة تشبع المونة بالماء ، كما تعتمد على كمية الماء القابل للتجمد داخل الخرسانة ومعدل انخفاض درجة الحرارة ، ويظهر من شكل (٤ / ٤) أن المونة غير المحمية من آثار الصقيع تتعرض لتمدد حاد نتيجة للصقيع ، وذلك يؤدي إلى إجهادات شد داخلية وبالتالي إلى شروخ ، وفي المقابل فإن المونة ذات الهواء المحبوس لا تتعرض لتمدد يذكر وإنما يحدث لها انكماش ملحوظ عند تعرضها لدرجات حرارة دون الصفر .

٢ / ٣ / ٢ - شروخ التقلص الحرارى المبكر :

الوصف :

إن تفاعل الأسمنت مع الماء - والمعروفة بالإماهة - هو تفاعل كيميائى تنتج عنه



شكل (٤ / ٤) التغير الحجمي في مونة الأسمنت عند انخفاض درجة الحرارة

حرارة ، وعندما يكون حجم العضو الخرساني كبيرا بما فيه الكفاية ، ويكون معزولا عن الجو الخارجي بمواد محيطة منها ، الشدة مثلا ، فإن معدل تولد الحرارة في الأربع والعشرين ساعة الأولى سيكون أكبر في الغالب من معدل فقد الحرارة إلى الجو المحيط ، وعلى ذلك فإن درجة حرارة الخرسانة سترتفع ، ولكن بعد بضعة أيام سينخفض معدل تولد الحرارة إلى ما دون معدل فقد هذه الحرارة وفي هذه الحالة فإن الخرسانة ستبرد . وكما هو الحال في أغلبية المواد يصاحب البرودة تقلصا للعضو ، ونظريا ، فإنه لا توجد مشاكل شروخ إذا كانت الحركة غير مقيدة ، أما في الطبيعة فلا بد من تواجد نوع من القيد على الحركة ، سواء داخلي أو خارجي .

الأسباب :

القيد على الحركة هو السبب الرئيسي ، ويمكن تقسيمه إلى :

- أ - قيد خارجي على الحركة : إذا تم صب الخرسانة على خرسانة متصلة ، أو إذا تم صبها بجوار أو بين أعضاء أخرى بدون عمل فواصل للحركة ، فإنها في هذه الحالة ستكون مقيدة من الحركة بقيد خارجي .

ب - قيد داخلي على الحركة : من الطبيعي أن يبرد سطح العضو بمعدل أسرع مما يبرد به قلب ذلك العضو ، كما أن السطح يتأثر بتغير درجات الحرارة اليومية أكثر من القلب ، ولذلك فإنه ستتسأ فروق في الانفعال خلال القطاع وعندما تزيد هذه الفروق زيادة كبيرة - كما في الأعضاء السميكة - فإن الشروخ يمكن أن تتكون على السطح على الأقل ، وفي أغلب الحالات فإن درجة حرارة قلب الخرسانة سيبرد إلى درجة الجو المحيط في مدة من ٧ - ١٤ يوما ، ولذا فمن الواضح أن شروخ التقلص الحراري لا بد أن تظهر خلال هذه المدة .

وعلى هذا فإن أحد أهم العوامل في التمييز بين شروخ التقلص الحراري ، وشروخ الانكماش طويل المدى نتيجة الجفاف ، هو وقت ظهور الشروخ لأول مرة . فالشروخ التي تظهر في الأسبوعين الأوليين بعد الصب من غير المحتمل أن تكون شروخ انكماش نتيجة الجفاف إلا إذا كان العضو الخرساني عبارة عن بلاطة رفيعة معرضة لظروف جفاف بالغة الحدة ، وفي المقابل فإن الشروخ التي تتكون بعد عدة أسابيع أو شهور من غير الممكن أن تكون شروخ تقلص حراري .

العوامل التي تؤثر في شروخ التقلص الحراري :

أ - نوع الركام : الخرسانة من ركام الحجر الجيري وكذلك ركام الجرانيت - لكن بدرجة أقل - لها معامل تمدد حراري منخفض عن ذلك الخاص بالخرسانة من الأنواع الأخرى ، ولذا فإن احتمال تعرضها للتشريح أقل .

ب - صلب التسليح : يمكن الحد من اتساع الشروخ بزيادة نسبة-صلب التسليح ، وبالنسبة لكمية تسليح محددة فإن الحد من اتساع الشروخ ممكن عن طريق :

١ - استعمال أسياخ ذات قطر أقل .

٢ - استعمال أسياخ ذات نتوءات بدلا من الأسياخ الملساء .

٣ - تقليل الغطاء الخرساني إلى أقل حد مسموح به .

ج - عوامل تزيد الإجهادات : مما يساعد على بدأ الشروخ عدة عوامل مثل : التغير المفاجئ في القطاع الخرساني والفتحات فيه ، وكذلك فتحات تركيب مسامير الشدة ، وعندما يتم قص - إيقاف - Curtailment أسياخ كثيرة في مكان واحد .

د - القيد الخارجى على الحركة : ويمكن التقليل من تأثير هذا العامل عن طريق فواصل الحركة ، وفى حالة عدم القدرة على عمل فاصل بين صبتين خرسانيتين - مثل صب حائط على قاعدة متصلة - فإن تأثير القيد الخارجى على الحركة يمكن تقليله بتخفيض الزمن الفاصل بين الصبتين .

هـ - القيد الداخلى على الحركة : ويظهر فى العادة فى الأعضاء السميكة ويمكن تقليل تأثيره عن طريق تأخير فك الشدة أو باستعمال العزل أو كليهما .

وبالنسبة لهذه العوامل الخمسة فبعضها ينشأ عن خصائص أساسية فى المنشأ مثل الأبعاد ، والبعض الآخر يمكن تحديده بواسطة المصمم مثل صلب التسليح ، أما الجزء الأخير فهو من اختصاص المكاول مثل المعالجة .

و - نوع الأسمنت : الأسمنت سريع التصلد والأسمنت فائق النعومة يسبب اكتسابا مبكرا للقوة مصحوبا بارتفاع فى حرارة الإماهة بالمقارنة بالأسمنتات العادية ، وهذا الارتفاع فى الحرارة سيؤدى إلى زيادة فروق الحرارة بين قلب الخرسانة وسطحها .

أمثلة على شروخ الحرارة المبكرة :

١ - الحوائط الكابولية : من أكثر أنواع شروخ الحرارة شيوعا تلك التى تظهر فى قواعد الحوائط الكابولية ، مثل حوائط الخزانات والحوائط الساندة وركائز الكبارى وحوائط البدروم ، وهى تنشأ أساسا بسبب عدم التوازن بين الحديد الموضوع للتحكم فى الشروخ وبين المسافات المسموح بها بين الفواصل ، وسبب ذلك غالبا أن حديد التحكم فى الشروخ يمكن أن يكون مكلفا ، وخاصة إذا كان عرض الشرخ المسموح به صغيرا جدا - ١، ٠ مم مثلا .

٢ - الصبات ذات العمق الكبير : والطريقة التقليدية للحد من شروخ الحرارة المبكرة فى القطاعات الكبيرة - التى تزيد بعض أبعادها عن ٢م - هى تقليل نسبة الأسمنت قليلا كبيرا أو الحد من سمك أو عمق الصبة الواحدة . ولكن هناك طريقة أسهل وهى تتمثل فى عزل سطح الخرسانة للحد من الفرق فى درجة حرارة السطح والقلب الخرسانى بحيث لا تزيد عن ٢٠ م - وفى هذه حالة فلن تتكون الشروخ (٤) رقم حاله .

٣ - تقوس البلاطات الرفيعة : بلاطات الطرق أو الأرصفة الرفيعة تتعرض لتغير حاد فى

فروق الحرارة لأن بطنية البلاطة تبرد ببطء بينما يتأثر أعلاها بسرعة بالتغيرات اليومية في درجة حرارة الجو المحيط (٢٤) ، وإذا لم يتم تزويد هذه البلاطات بالوصلات الكافية فإن تقوس البلاطات سيحدث مسببا شروخا تظهر في ظرف بضعة أيام .

٢ / ٣ / ٣ - الإجهادات الحرارية :

الوصف :

إن التغير في درجة حرارة الخرسانة المتصلدة سيؤدي إلى حدوث تغيرات في شكل وحجم كتلة الخرسانة ، ولو لم تحدث هذه بحرية - نتيجة القيد على الحركة - فستحدث إجهادات حرارية ، ولو كانت هذ الإجهادات إجهادات شد وأكبر من مقاومة الخرسانة - ولم يوضع صلب تسليح لمقاومتها - فستحدث الشروخ .

الأسباب :

التغير في درجة حرارة الخرسانة المتصلدة ينشأ عن :

أ - التغير في درجة حرارة الجو المحيط .

ب - التغير الداخلي في درجة الحرارة .

وفي الحالة الأولى يكون القيد الخارجى على الحركة هو سبب التشريح ، أما في الحالة الثانية فالقيد الداخلى على الحركة هو سبب التشريح وقد سبق مناقشة هذا النوع من الشروخ في القسم السابق (٢ / ٣ / ٢) .

أمثلة على الشروخ نتيجة تغير درجة حرارة الجو :

١ - حالة بلاطة أرضية مصبوبة على الأرض في الصيف أو الخريف ثم حدث هبوط في درجة حرارة الجو المحيط أثناء الشتاء حوالى 30°C أو أكثر ، فكل (٣٠ م) من الخرسانة سيحدث له تقلص في الطول نتيجة لذلك حوالى ١ - ١,٥ سم ، وهذا التقلص لا يحدث بحرية بسبب الاحتكاك بين البلاطة والأرضية ، فإذا كان هذا الاحتكاك كافيا لمنع حدوث أي تقلص فيمكن أن تحدث إجهادات شد في بلاطة بهذا الطول (٣٠ م) أكثر من ٥٠ كجم / سم^٢ ، وهى أكبر من مقاومة الخرسانة

غير المسلحة لهذا النوع من الإجهادات بكثير ، ونفس المشكلة يمكن أن تحدث فى المناطق القارية الحارة إذا تم صب البلاطة فى الشتاء ثم ارتفعت درجة حرارة الجو (٣٠ م) .

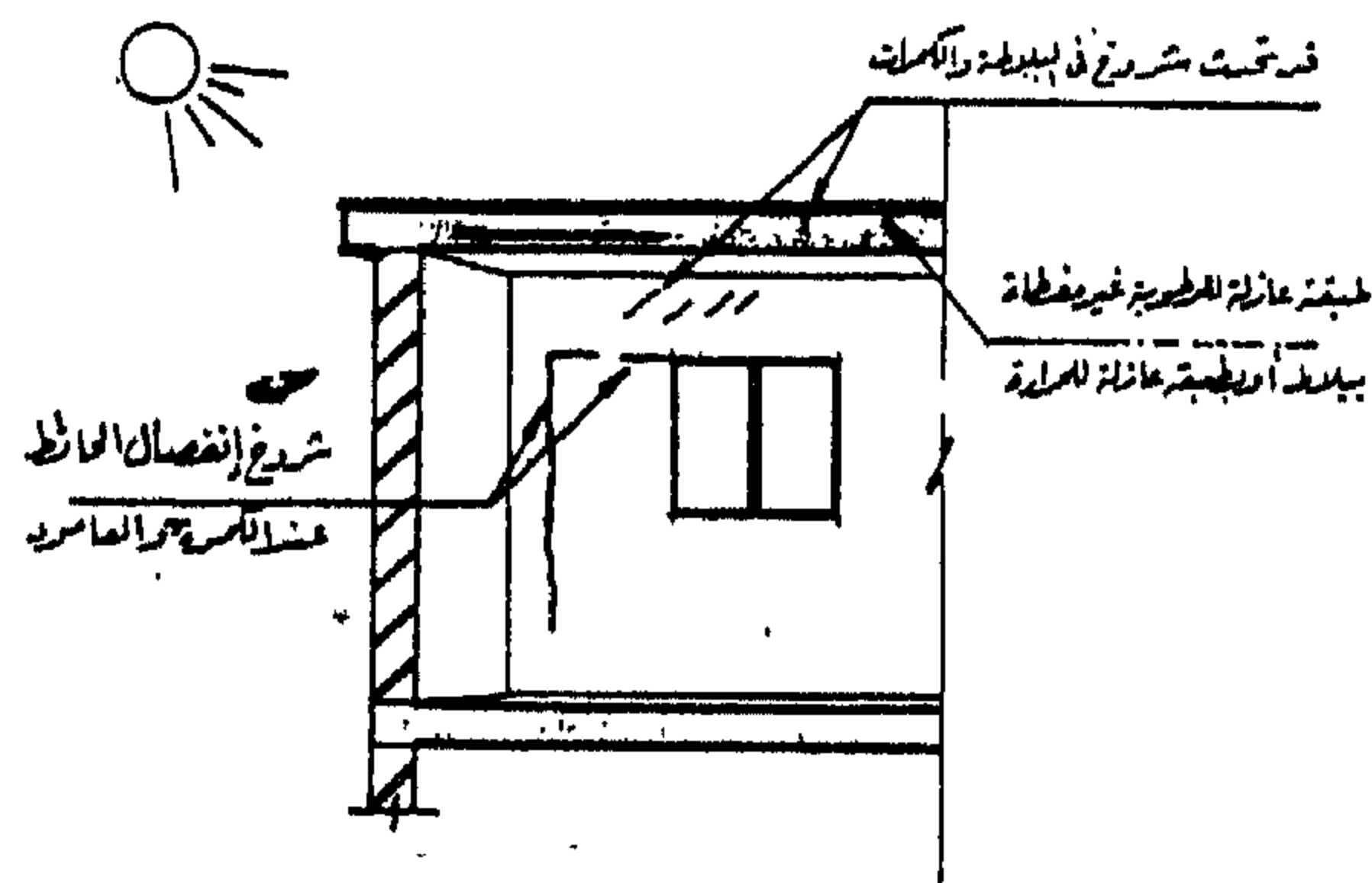
٢ - حالة بلاطات وكمرات الأسطح الأخيرة فى المناطق الحارة والتي يتم صبها فى الشتاء ثم ترتفع درجة الحرارة ارتفاعا كبيرا أثناء الصيف ، ومما يساعد على زيادة الإجهادات الحرارية فى هذه الحالة دهان الأسطح العليا بالمواد البيتومينية العازلة للرطوبة وعدم تبليط السطح أو وضع المواد العازلة للحرارة عليها ، فتعمل المواد البيتومينية السوداء على زيادة ارتفاع درجة حرارة البلاطات والكمرات المدهونة ، فإذا كان هناك قيد على حركتها تحدث بها شروخ كما يظهر فى شكل (٤ / ٤٥) .

٣ - حالة الحوائط الخرسانية الخارجية فى مبنى مرتفع ، وتستخدم هذه الحوائط (shear walls) فى مقاومة أحمال الرياح والزلازل ، فإذا كان المبنى مكونا من ثلاثين طابقا مثلا ومكيفا من الداخل ، فإن فرق درجات حرارة الخارج عن الداخل قد تصل إلى ٢٠ م فى المناطق الحارة ، وفى هذه الحالة يصبح التمدد الكلى للحائط الخارجى (بارتفاع ٩٠ م) حوالى ٢ - ٢,٥ سم ، ولو أخذ تأثير هذا التمدد فى برنامج حسابى لتحليل الإجهادات لنشأ عنه إجهادات فى المبنى تكافئ الإجهادات الناشئة عن الأحمال الحية والميتة على المبنى ، ولو لم تؤخذ هذه الإجهادات فى الاعتبار عند التصميم لحدث تشريح بهذا المبنى .

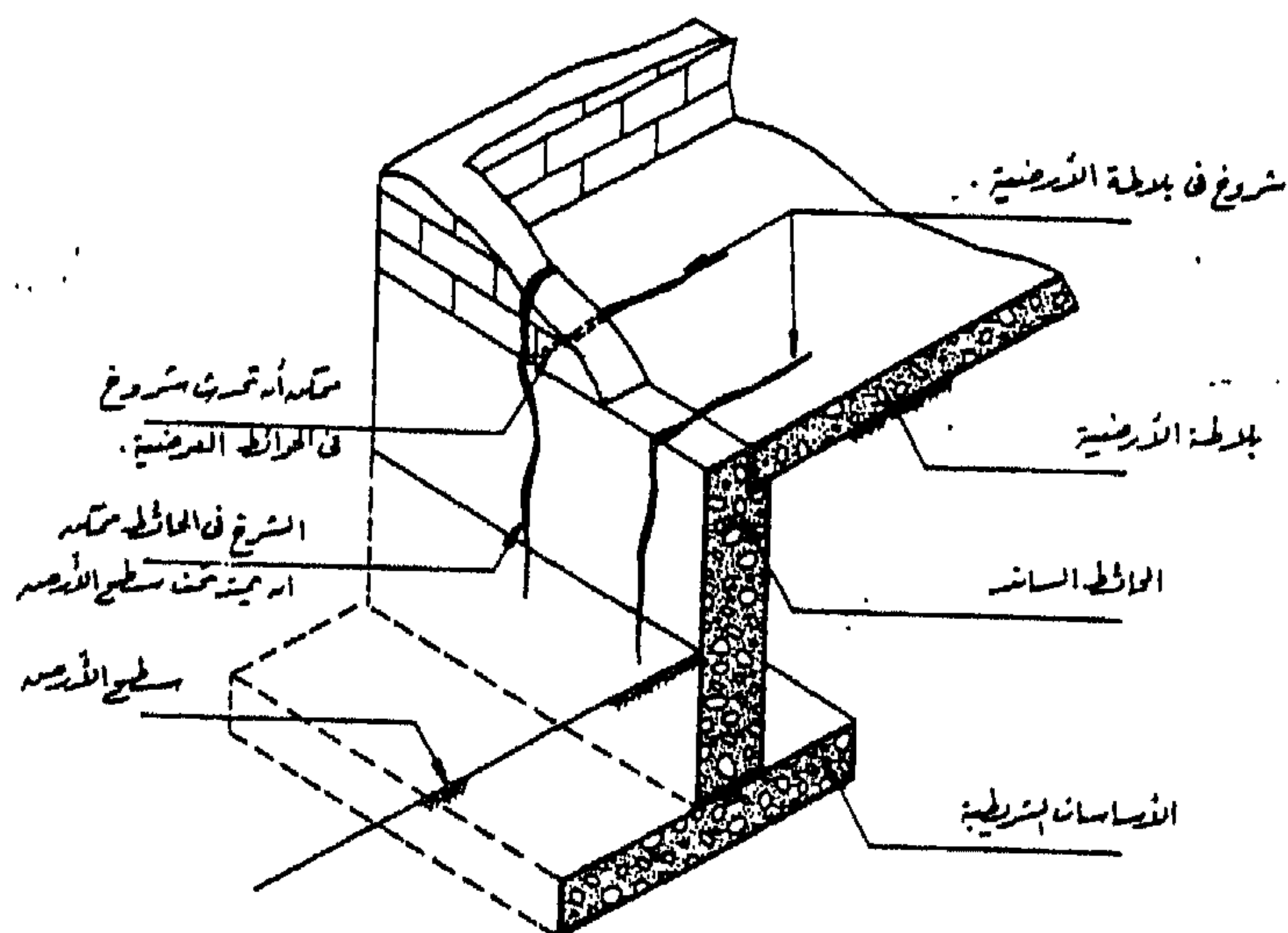
٤ - حالة حائط سائد أسفل مبنى ، فى الشتاء يحدث انكماش فى طول الحائط بينما أساساته الشريطية لا يحدث لها تغير فى الطول لأنها مدفونة تحت الأرض حيث لا تشعر بتغير درجات حرارة الجو ، وقد لا يحدث تغير فى طول بلاطات الأرضية المرتكزة على الحائط نتيجة التدفئة الداخلية بالمبنى - وقد تحدث لها بعض الاستطالة - فتشكل الأساسات وحوائط الأرضية قيда على الحركة يؤدى إلى شروخ فى الحائط وقد تمتد فى الأرضية - شكل (٤ / ٤٦) .

٥ - حالة خزان مياه على سطح الأرض ، حيث ترتفع درجة حرارة الوجه الخارجى لحوائط الخزان المقابلة للشمس ولكن حركة التمدد الرأسى لهذه الحوائط مقيدة بوجود بلاطة الأرضية ووجود غطاء الخزان ، كما أن فروق الحرارة الكبيرة بين

الوجه الخارجى المعرض للشمس والوجه الداخلى الملامس للماء تؤدي - مع القيد على الحركة الرأسية - إلى انحناء الحائط إلى الخارج ويتحول الشكل الدائرى لمقطع الخزان إلى شكل بيضاوى - كما هو مبين فى شكل (٤ / ٤.٧) - وهذا الانحناء يسبب شروخ شد فى الوجه الخارجى للحائط من أعلى وفى الوجه الداخلى من أسفل ، كما قد يسبب شروخ انحناء فى أرضية الخزان .



شكل (٤ / ٤.٥) شروخ حرارية فى آخر دور فى المبنى



شكل (٤ / ٤.٦) شروخ حرارية فى حائط ساند

٢ / ٤ - قصور التصميم :

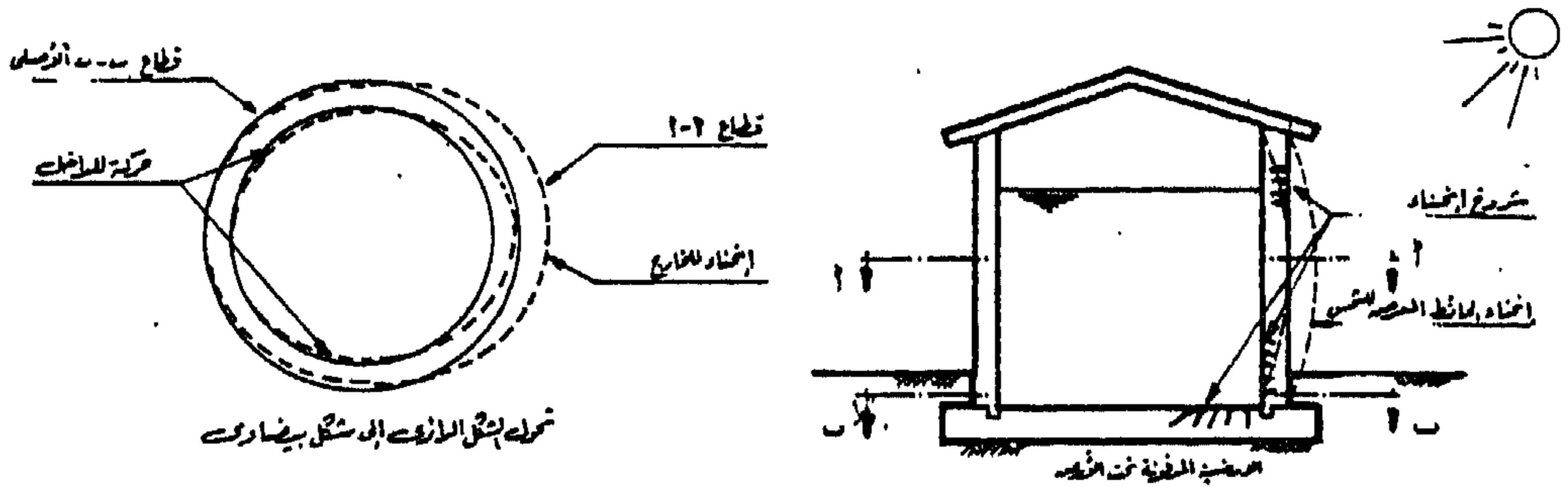
٢ / ٤ / ١ - اعتبارات التصميم :

يتراوح تأثير التصميم غير المناسب والتفاصيل غير المناسبة من حدوث عيوب فى الشكل إلى نقص كفاءة الأداء (serviceability) إلى كارثة الانهيار ، ولا يمكن التقليل من خطر هذه المشاكل إلا عن طريق فهم عميق للأداء الإنشائى للمبنى وخاصة فيما يختص بالخرسانة ، وتحدث مشاكل التشريح عادة بسبب عدم اهتمام المصمم اهتماما كافيا بهذا الجانب فى التصميم .

وتشمل أخطاء التصميم التى تسبب فى شروخ غير مقبولة : الاختيار غير السليم لصلب التسليح وعدم أخذ القيد على الحركة فى الاعتبار عند تصميم الأعضاء المعرضة لتغيرات حجمية بسبب التغير فى درجة الحرارة أو الرطوبة وعدم كفاية وصلات التقلص (contraction joints) والتصميم غير السليم للأساسات المتسبب فى حدوث تحركات (Differential Movements) داخل المنشأ .

أ - الأركان الداخلية Reentrant Corners :

الأركان الداخلية تعتبر مكانا لتركيز الإجهادات ، ومن ثم فهى أماكن رئيسية لتولد الشروخ ، وسواء كانت الإجهادات العالية نتيجة لتغيرات حجمية أو أحمال فى نفس المستوى أو انحناء ، فلا بد أن يدرك المصمم أن الإجهادات تكون دائما مرتفعة حول الأركان الداخلية ، ومن الأمثلة المعروفة فتحات الشبايك والأبواب فى الحوائط الخرسانية والكمرات ذات النهاية النحيفة - كما هو مبين فى شكل (٤ / ٤٨) وشكل (٤ / ٤٩) - ولا بد من استعمال حديد قطرى (Diagonal RFT) ، إضافى مربوط جيدا للحد من اتساع هذه الشروخ التى لا بد من وجودها ولمنعها من الانتشار ، كما أن الكمرات غير المستقيمة - شكل (٤ / ٥٣ ح) - تحتاج إلى زيادة كاناتها لمعادلة القوة التى تحاول فرد أسياخ الحديد ونظر الغطاء الخرسانى .

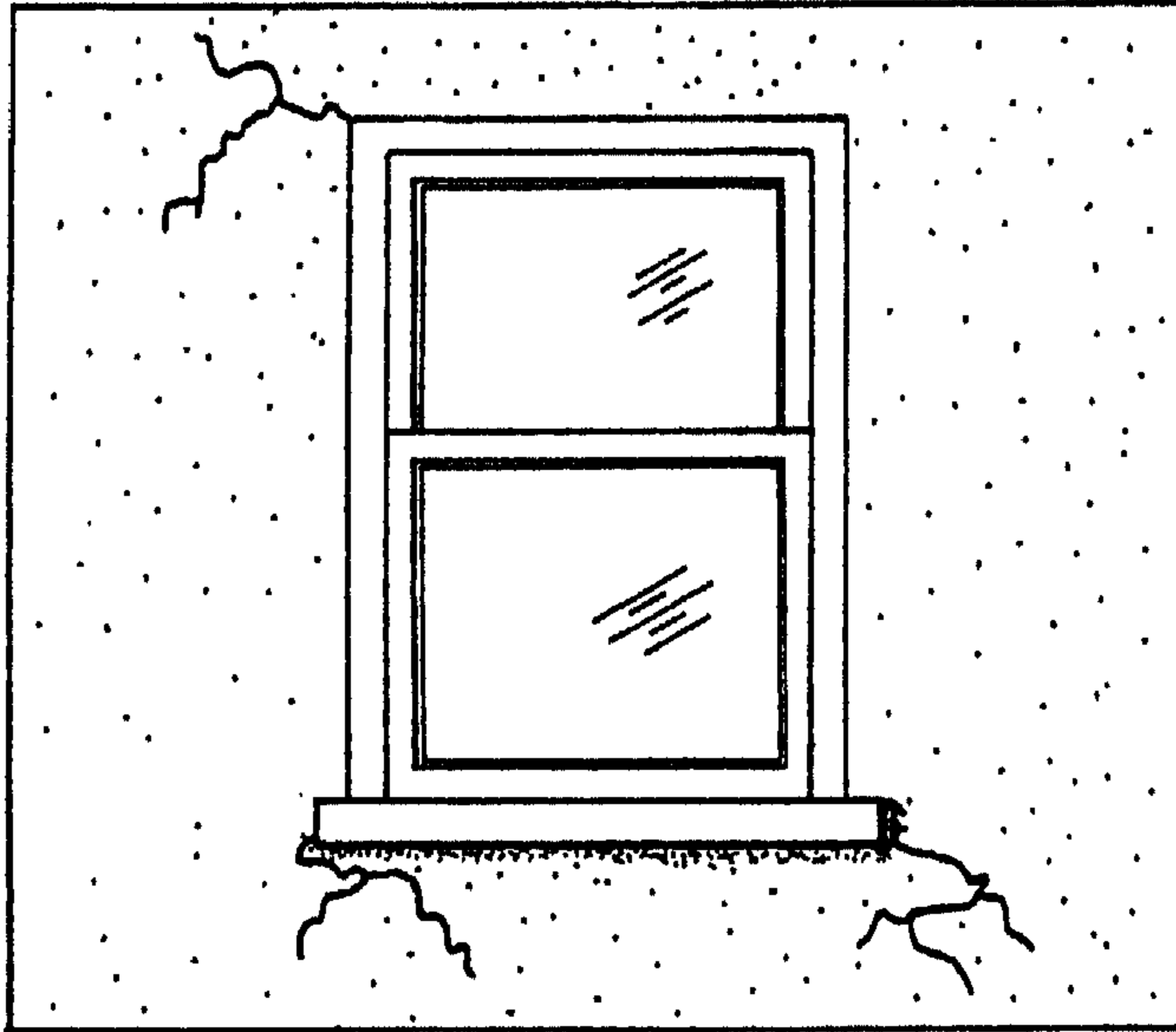


شكل (٤ / ٤٧) شروخ الإجهادات الحرارية فى خزان دائرى مغطى

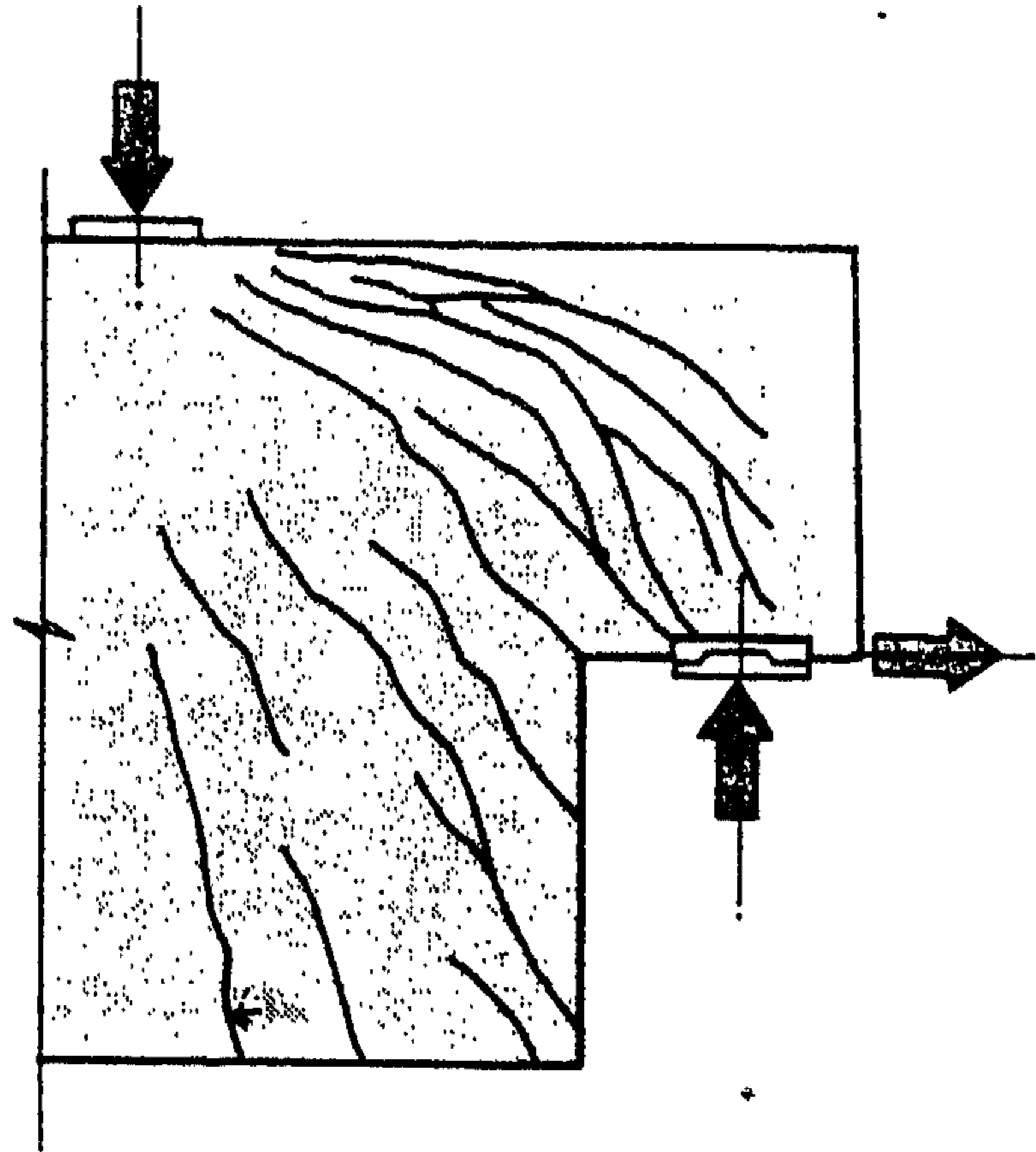
ب - التسليح غير الكافى :

قد يؤدى استعمال كمية غير كافية من حديد التسليح إلى تشريح ، وفى الكمرات يعتبر التسليح غير كاف إذا لم تؤخذ كل حالات التحميل فى الاعتبار أثناء التصميم ، وخاصة إذا كانت قيمة الحمل الحى مرتفعة .

وهناك غلطة خاصة بعدم كفاية الحديد تتكرر كثيرا ، وهى تسليح عضو ما تسليحا خفيفا لأنه عضو غير إنشائى - لا يشترك فى حمل الأحمال - ورغم ذلك فهذا العضو - كحائط مثلا - قد يكون مربوطا بياقى المنشأ بطريقة تجبره على حمل جزء أساسى من الأحمال عندما يبدأ المنشأ فى التشكل ، وعندئذ يبدأ العضو غير الإنشائى فى تحمل نصيب من الحمل يتناسب مع عزم قصوره أو صلابته (stiffness) ، ولما كان هذا العضو غير مسلح لكى يتصرف كعضو إنشائى فإن مجموعة من الشروخ غير المرئية تبدأ فى الظهور به .



شكل (٤ / ٤٨) الأشكال النموذجية للشروخ عند الأركان (٤٦)



شكل (٤ / ٤٩) الأشكال النموذجية للشروخ للكمرات
ذات النهاية النحيفة تحت تأثير حمل التشغيل (١٢٧)

ومن أمثلة التسليح غير الكافي ما يحدث في كراسي كمرات الكبارى حيث تتولد إجهادات قص غير متوقعة عند الأعمدة والأكتاف الخرسانية للكوبرى ، فالركائز المتحركة للكوبرى تصبح غير قابلة للحركة مع الوقت بفعل الصداً والأثرية ، وكنتيجة لهذا فإن القوة الجانبية لا تقاوم عن طريق الركيزة غير المتحركة فقط ، وإنما تقاوم جزئياً بالركيزة المتحركة مما يؤدي إلى تولد قوى قص في حركة الكمرة - شكل (٤ / ٥٠ - أ) - وغالباً ما تكون الكانات الأفقية في كراسي الكمرة غير كافية - لأنها نظرياً غير مطلوبة - فتحدث الشروخ المائلة المبينة في الشكل ، وتحدث حالة مماثلة في الكوابيل القصيرة عندما لا يأخذ المصمم القوة الأفقية - المتولدة من الاحتكاك - في الاعتبار عند حساب كانات تسليح الكابولي ، فتصبح الكانات غير كافية ، وتحدث شروخ القص المبينة في شكل (٤ / ٥٠ - ب) .

ج - إجهادات الحرارة :

إن إهمال تأثير إجهادات الحرارة قد يؤدي إلى حدوث مشكلة كبيرة ، وخاصة إذا كان عدد ومواقع فواصل التمدد غير كاف ، ولو كانت الحوائط الخارجية للمبنى من الخرسانة المسلحة - مثل الإنشاء بطريقة الشدات النفقية tunnel form أو الشدات

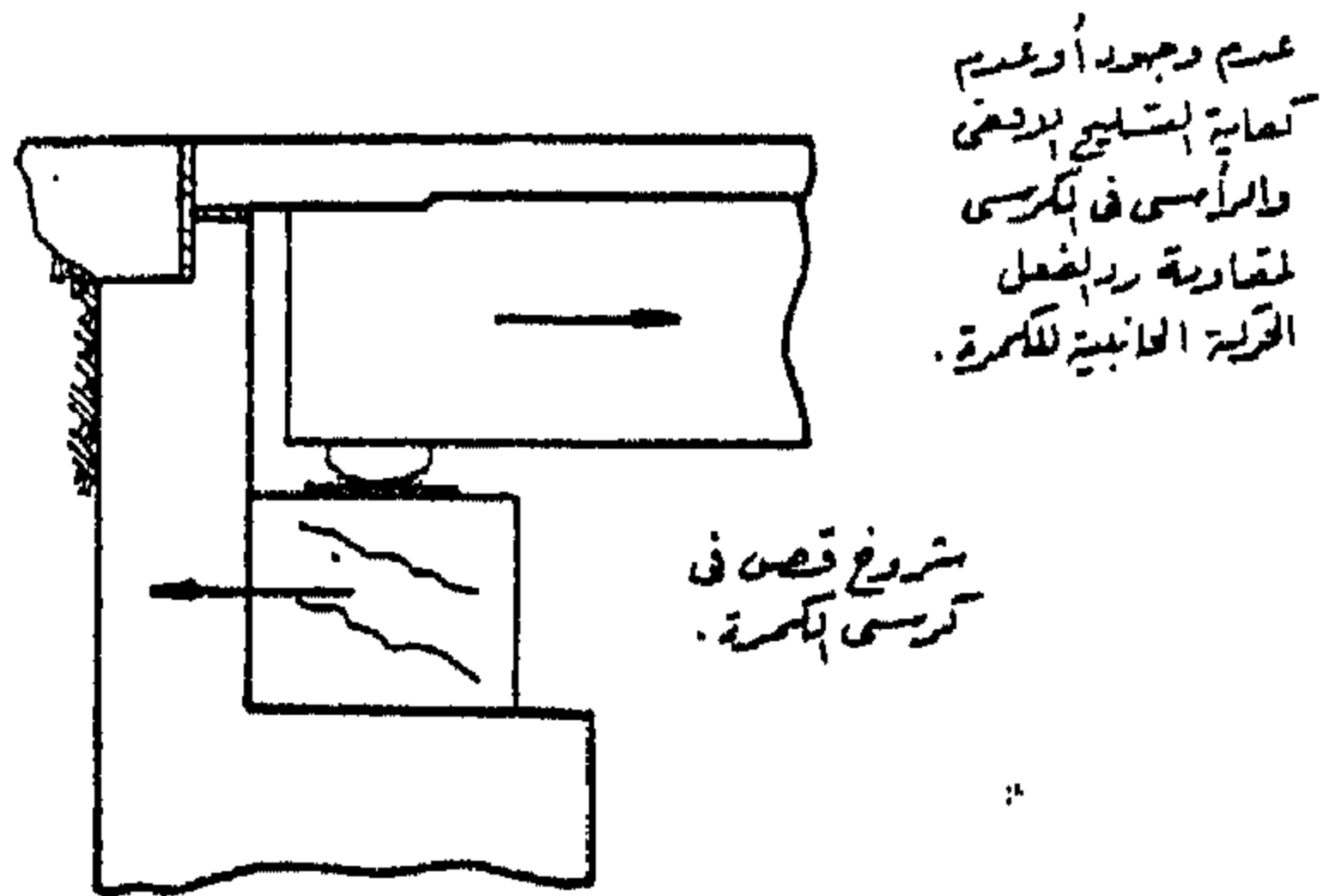
المنزلة slip form - فإن فارق الحرارة خارج المبنى وداخله سيكون كبيرا ، وخاصة في المناطق الحارة وفي حالة المباني مكيفة الهواء ، وعندما يتعرض جانب الخزان المقابل للشمس - شكل (٤ / ٥٠ - د) - لارتفاع كبير في درجة الحرارة مع بقاء السطح الملامس للماء باردا فالاختلاف كبير أن تحدث به شروخ انحناء ، وذلك لأن التغير التدريجي في درجة الحرارة داخل الحائط الخرساني - إذا كان مقيدا من الحركة - سيؤدي إلى حدوث تشكيل وانحناء مما ينتج عنه إجهادات خطيرة (٣١) ، والحوائط الخرسانية الخارجية في المباني تتعرض للتشريح كذلك إذا تعرضت لانخفاض كبير في درجة حرارة الجو ؛ لأن انكماشها مع كونها مقيدة من الحركة يؤدي إلى حدوث شروخ شد بها .

ومما يساعد في تقليل هذه المشاكل إما السماح بالحركة عن طريق الفواصل السليمة أو تسليح الأعضاء المعرضة لإجهادات حرارية بحيث يقاوم الحديد هذه الإجهادات ، ومن المعلوم أن معامل التمدد الحراري للخرسانة حوالي 10×10^{-6} / درجة مئوية ، وأن ارتفاع درجة حرارة حوائط خرسانية خارجية لمبنى مرتفع - ٣٠ طابقا مثلا - بمقدار ٢٠ م تولد إجهادات على الأعضاء الحاملة توازي الإجهادات المتولدة من الأحمال الحية والميتة معا .

د - القيد على الحركة :

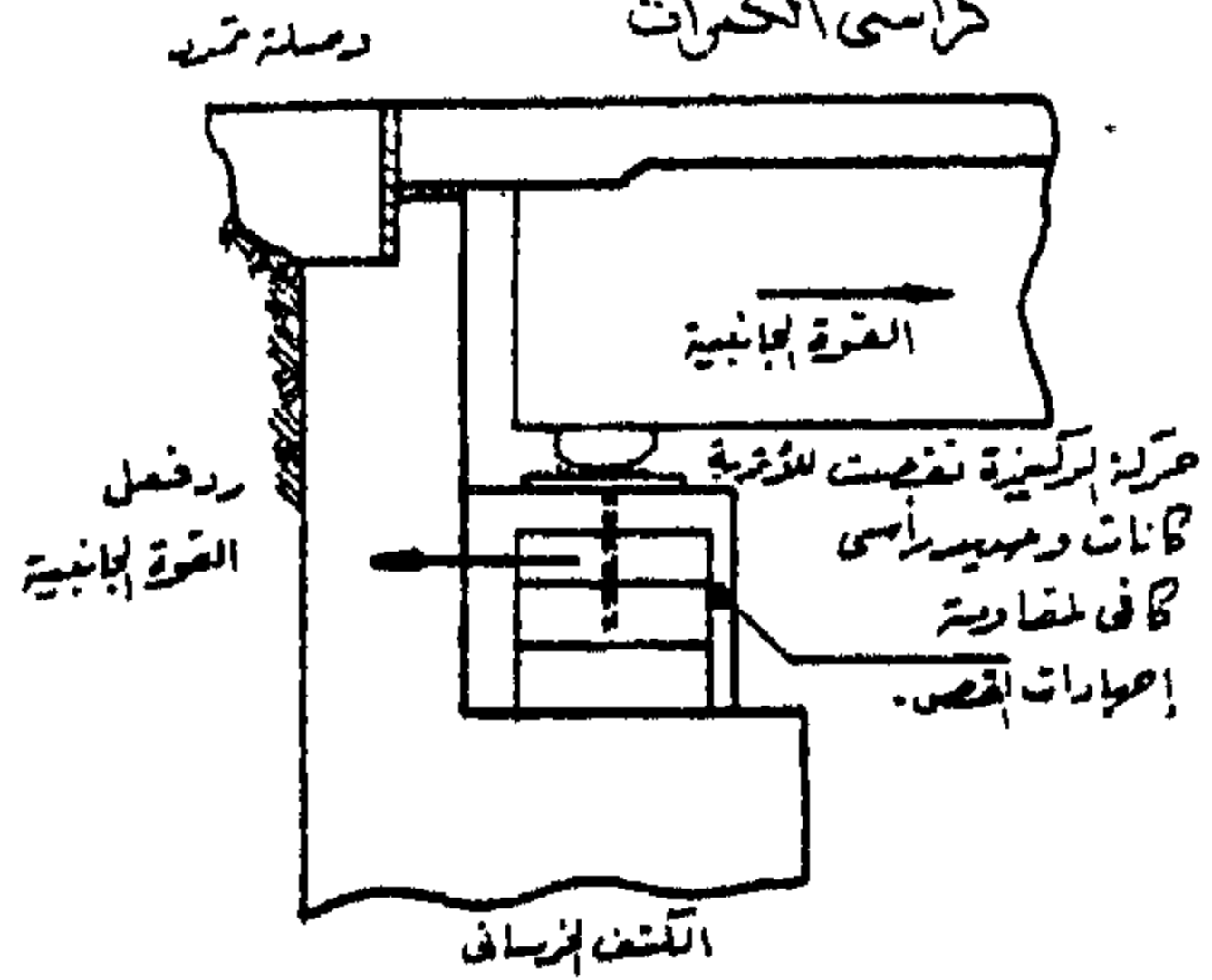
يؤدي القيد على حركة الأعضاء المعرضة لتغيرات حجمية إلى حدوث شروخ بها في أغلب الحالات ، وقد تكون الإجهادات المتولدة في الخرسانة نتيجة القيد على الحركة بسبب الزحف أو فروق الحرارة أو الانكماش نتيجة الجفاف ، أضعاف الإجهادات المتولدة نتيجة الأحمال ، فالبلاطة أو الكمرة أو الحائط الممنوع من التقلص - حتى ولو كان سابق الإجهاد - تتولد بها بسهولة إجهادات شد كافية لأن تسبب شروخا ، والحائط أو دروة البلكونة المربوطة بطول قاعدتها في القاعدة أو في أعضاء إنشائية أسفلها لا تحدث لها نفس التغيرات الحجمية ، ستصبح مقيدة من الانكماش عندما تتقلص أجزاؤها العليا بفعل الجفاف أو انخفاض درجة الحرارة ، وفي هذه الحالة لا يمكن تجنب الشروخ إلا إذا تم عمل فواصل تقلص contraction joints رأسية أو على الأقل عمل تجويف بعنق لا يقل عن ١٠ ٪ من سمك الحائط على مسافات تتراوح قيمتها بين ارتفاع الحائط (للحوائط المرفعة) أو ثلاثة مرات ارتفاع الحائط (للحوائط المنخفضة) .

الخطأ والعيوب التي يمكن أن تحدث

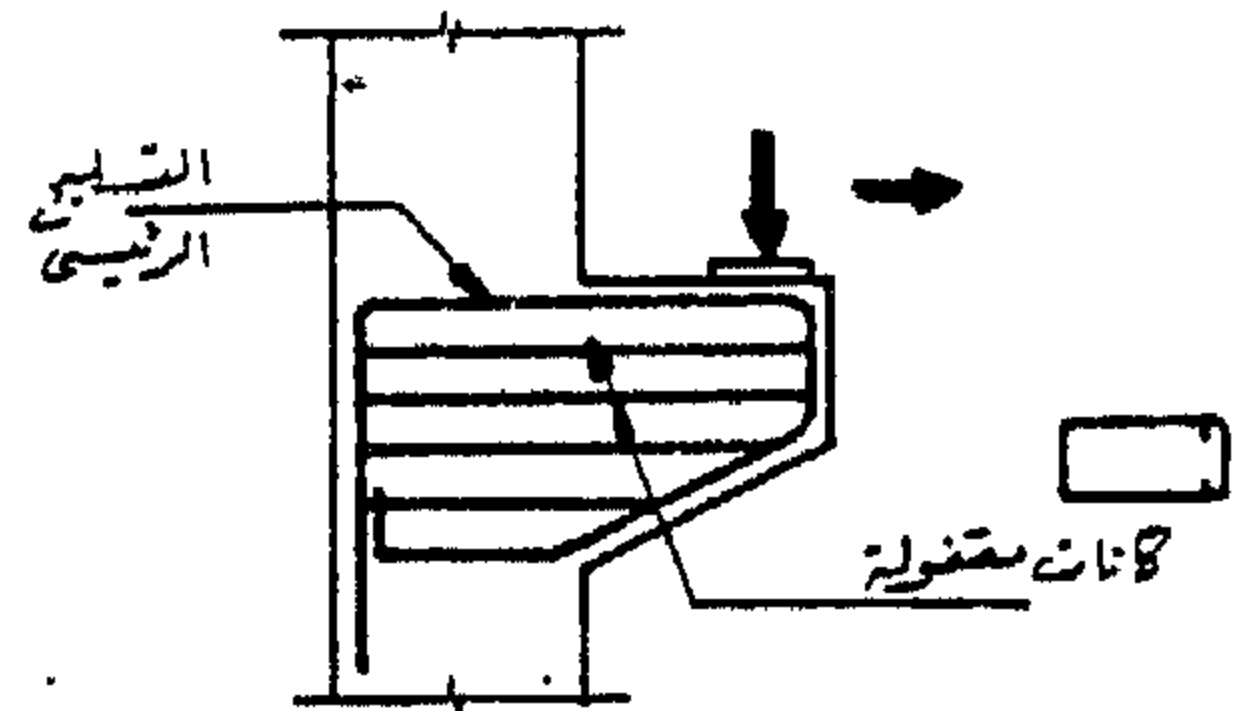
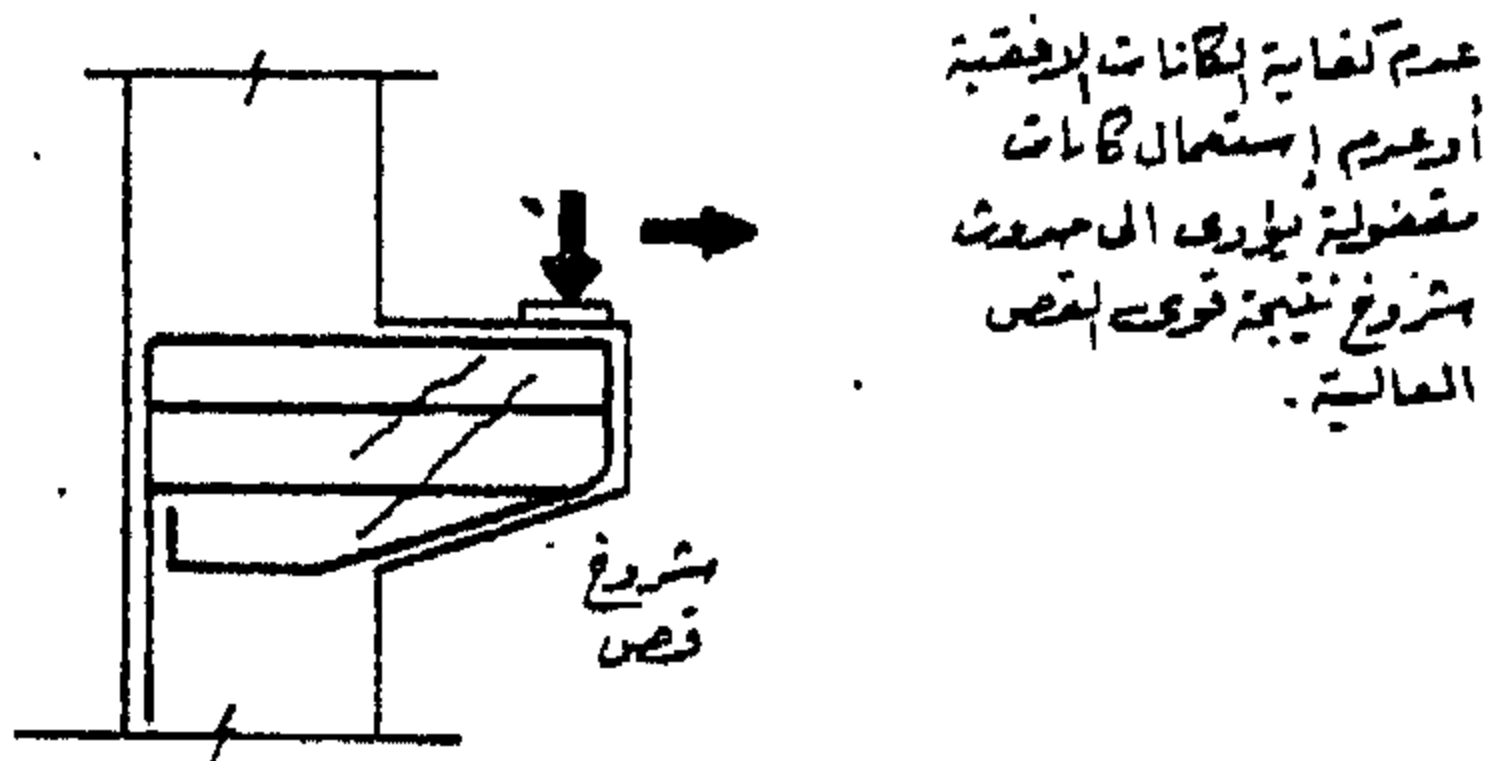


الصواب

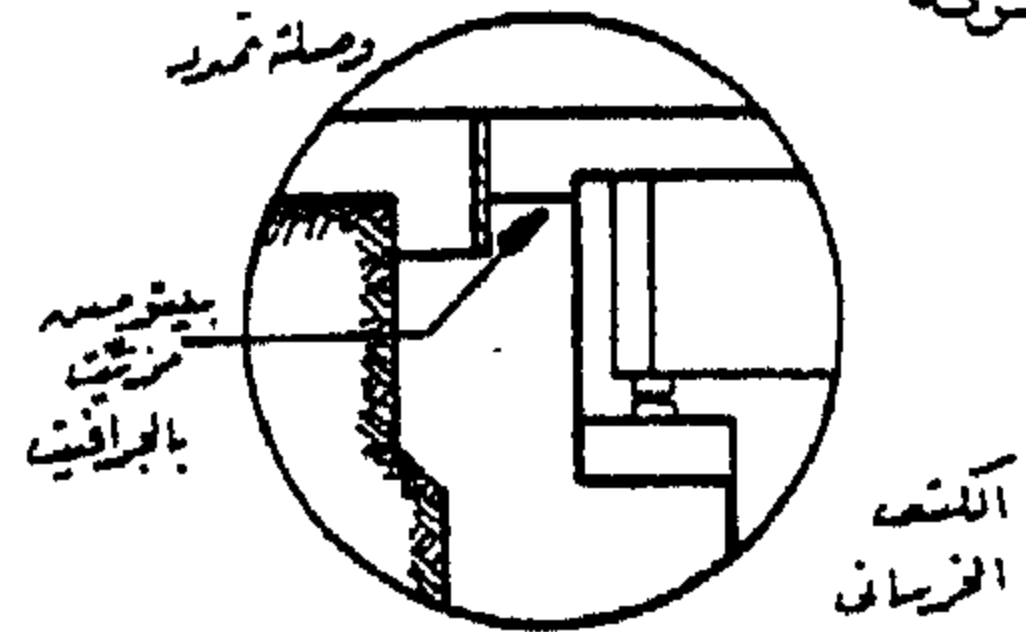
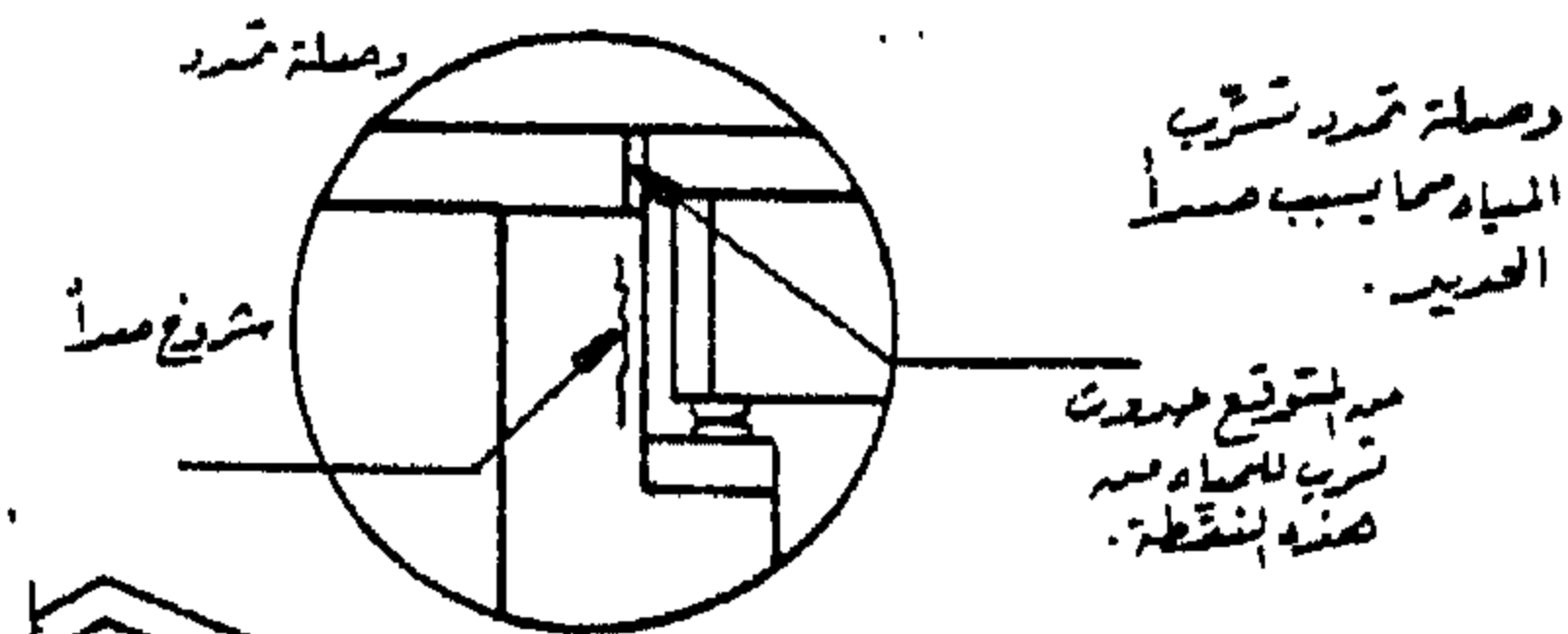
أماكن الارتكاز:
كراسي الكمرات



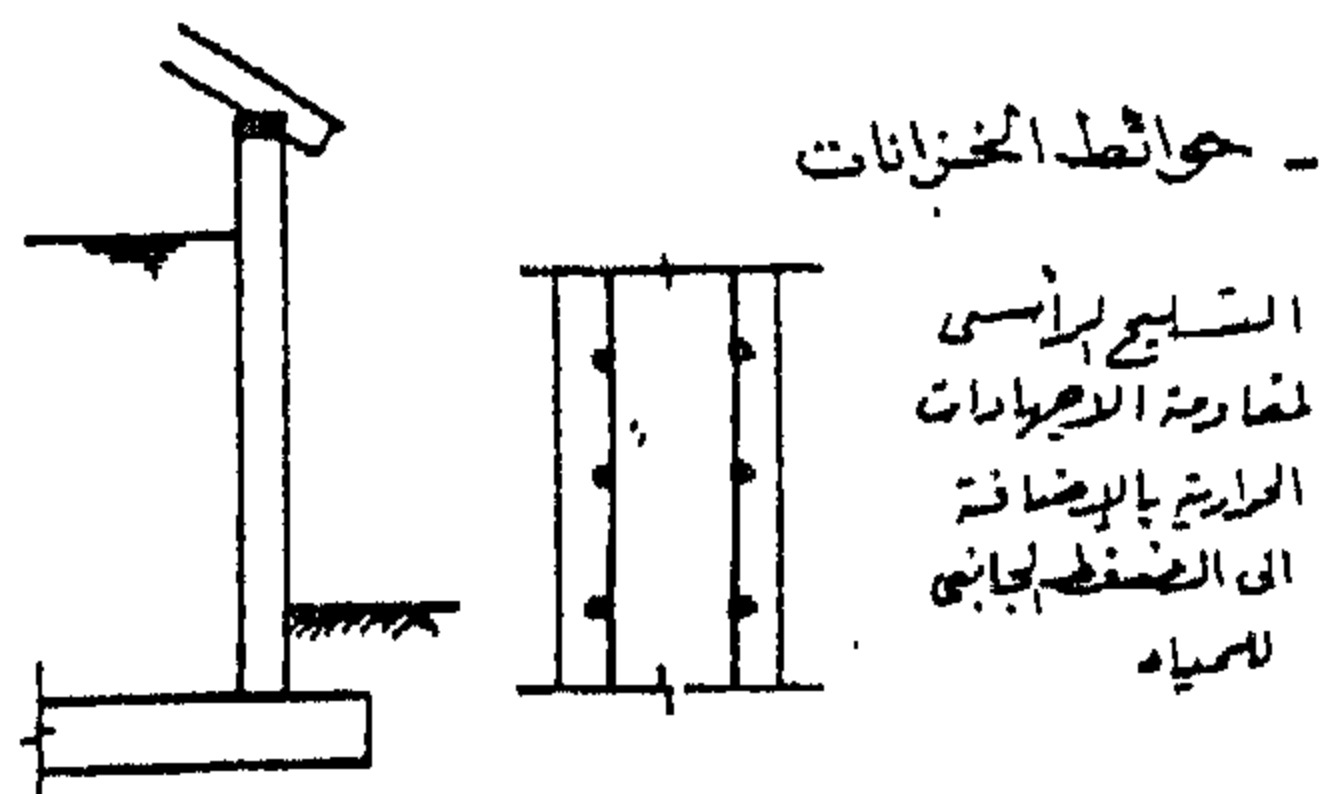
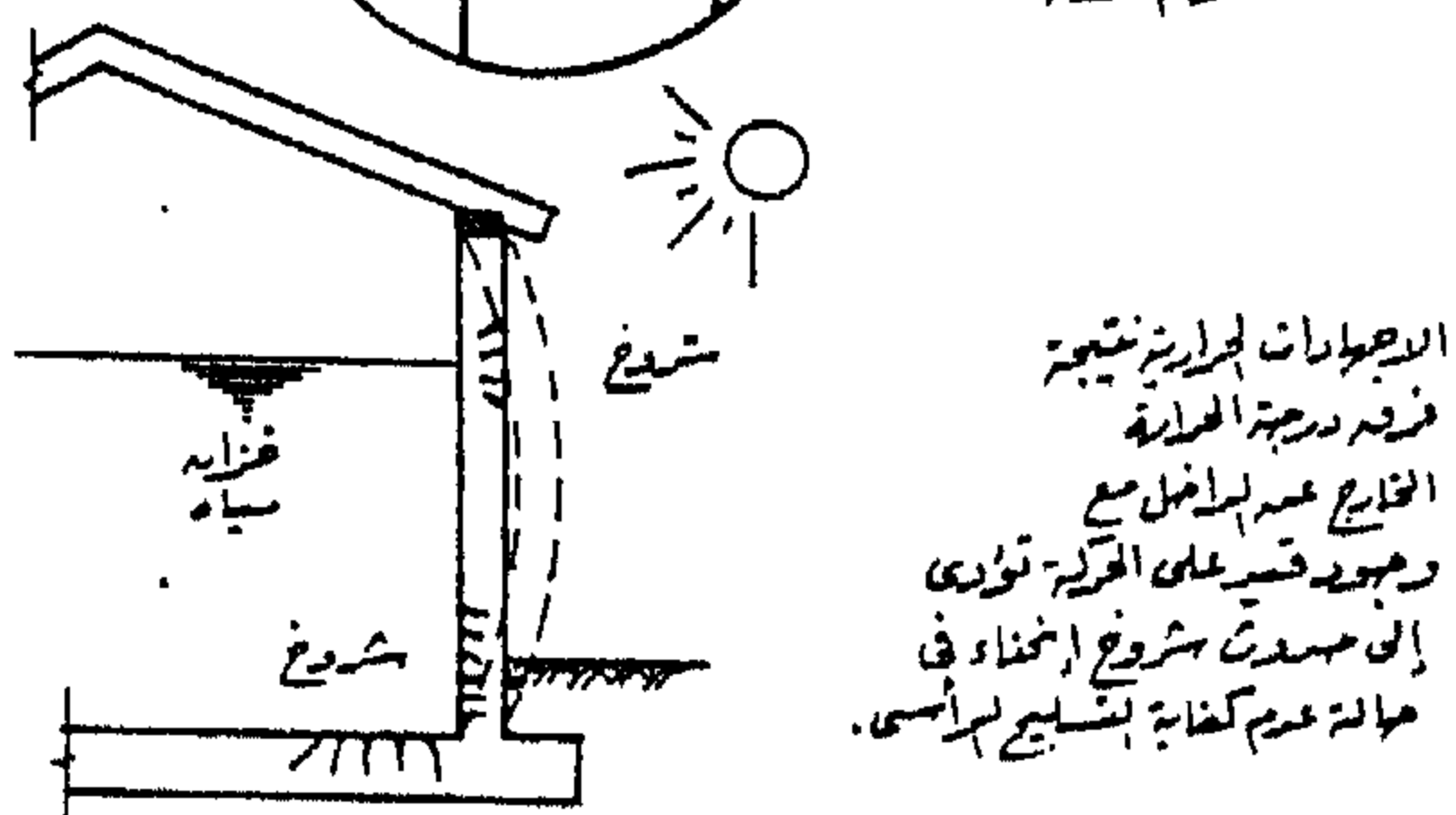
ب. الكوابيل القصيرة



ج. وصلات الحركة

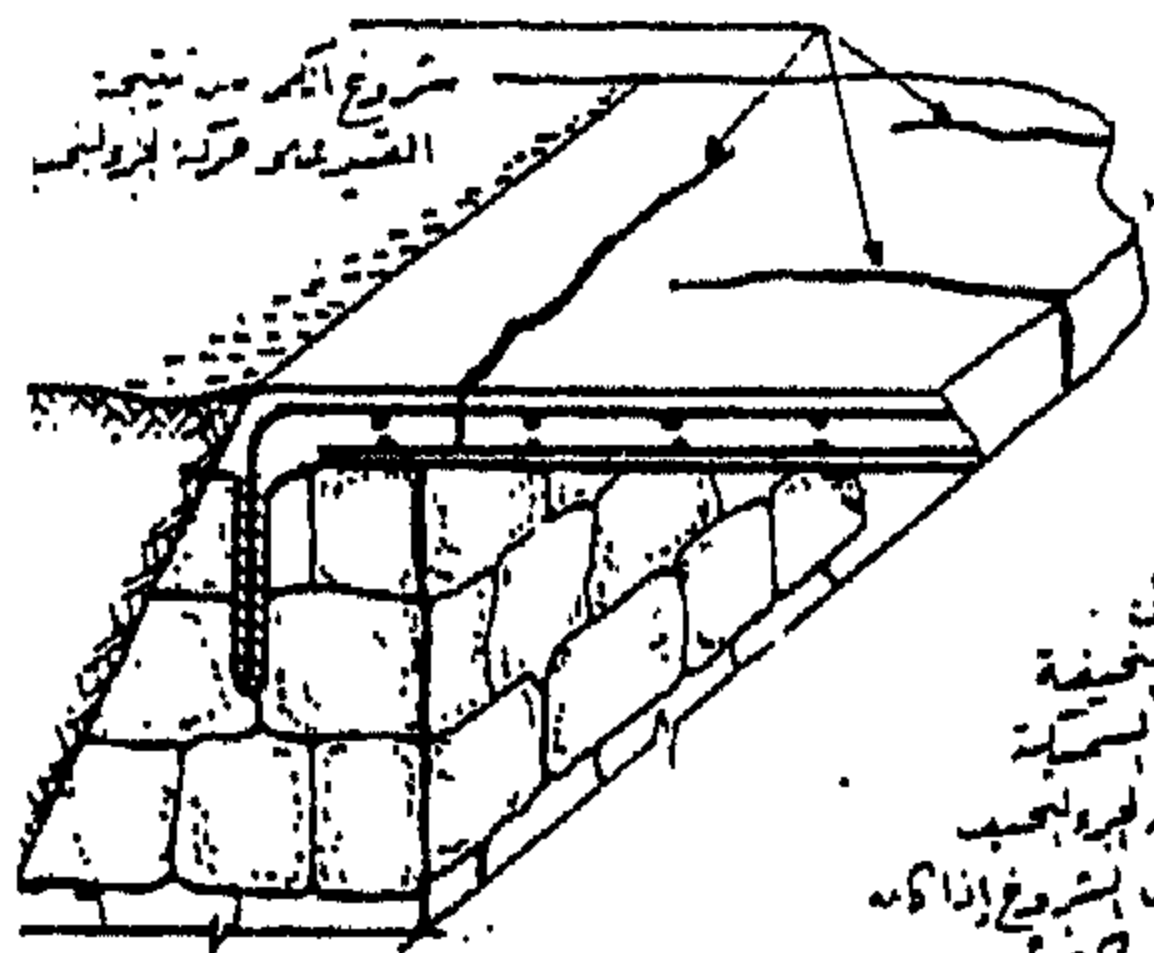


د. حوائط التخزانات



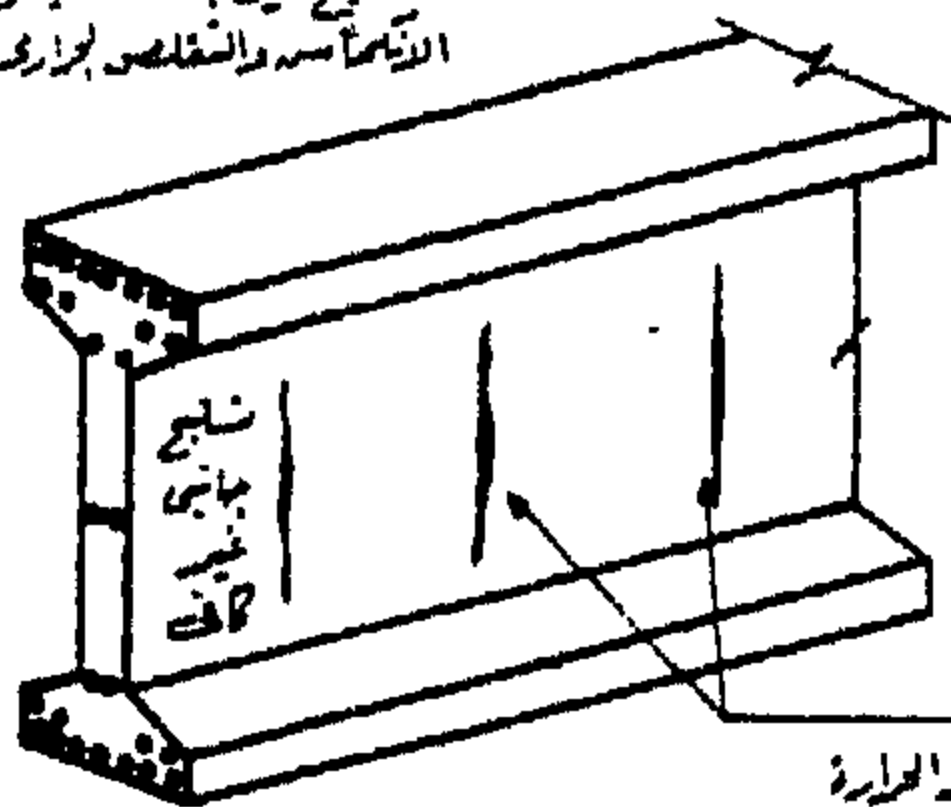
شكل (٤ / ٥٠) أخطاء التصميم المسببة للشروخ

الخطأ والعيوب التي يمكن أن تحدث

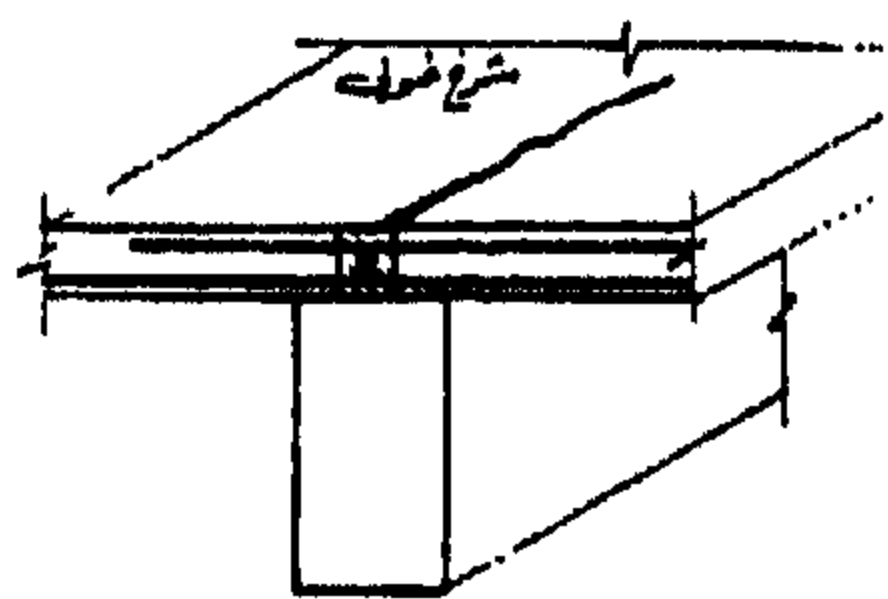


عندما تتصل
العتبات بالخرق
بالخرقات السليمة
فإنه أياهما منه الجيد ويجب
استيعاب في الشروع إذا كان
الخرق غير كافياً.

تسليح قليل بالخرق قليل
الارتفاع منه والخرق الزاوية

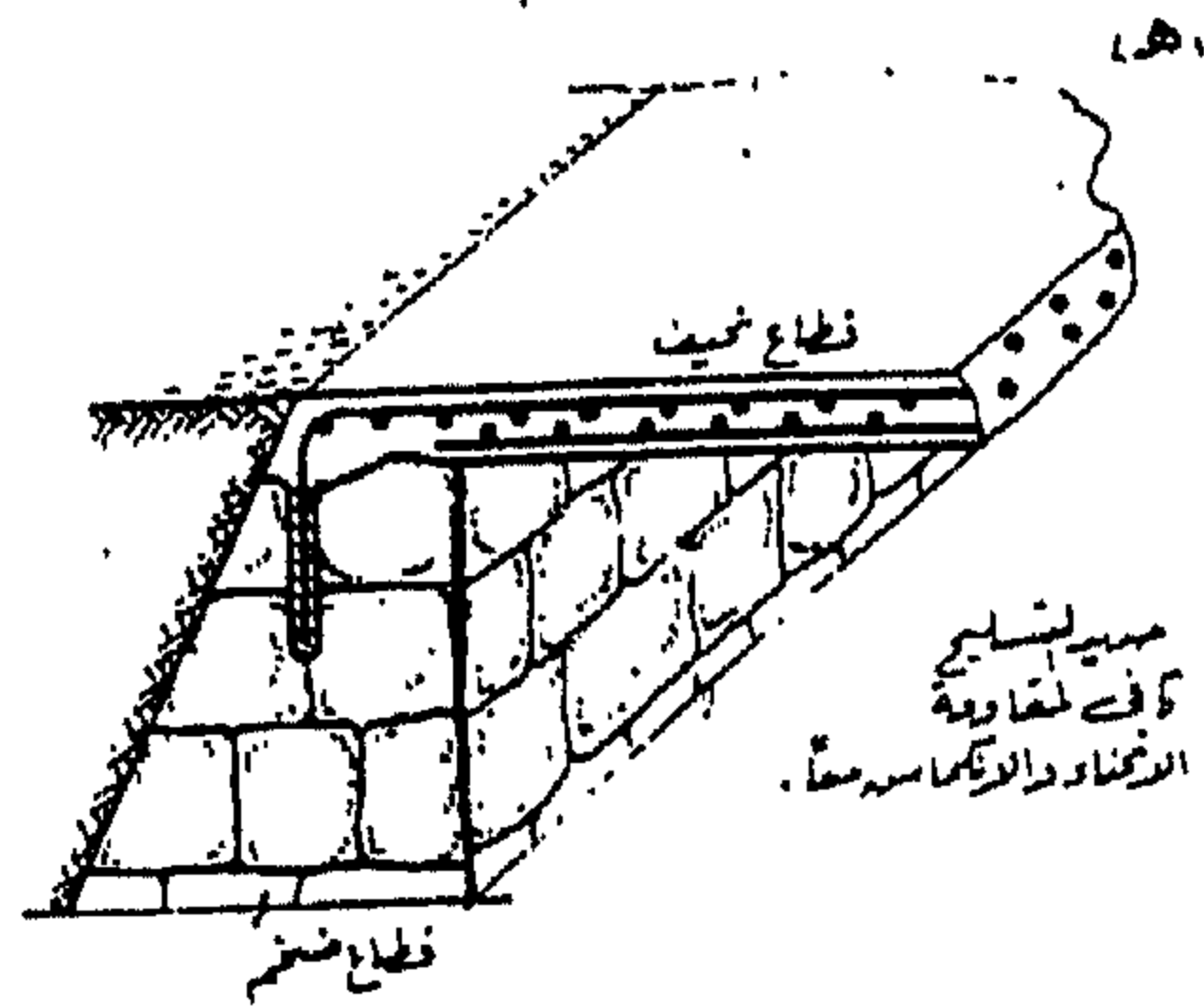


وعدم تسليح
تسليح بالخرق
بريد من قبة
الارتفاع منه الجيد ويجب
استيعاب في الشروع إذا كان
الخرق غير كافياً.

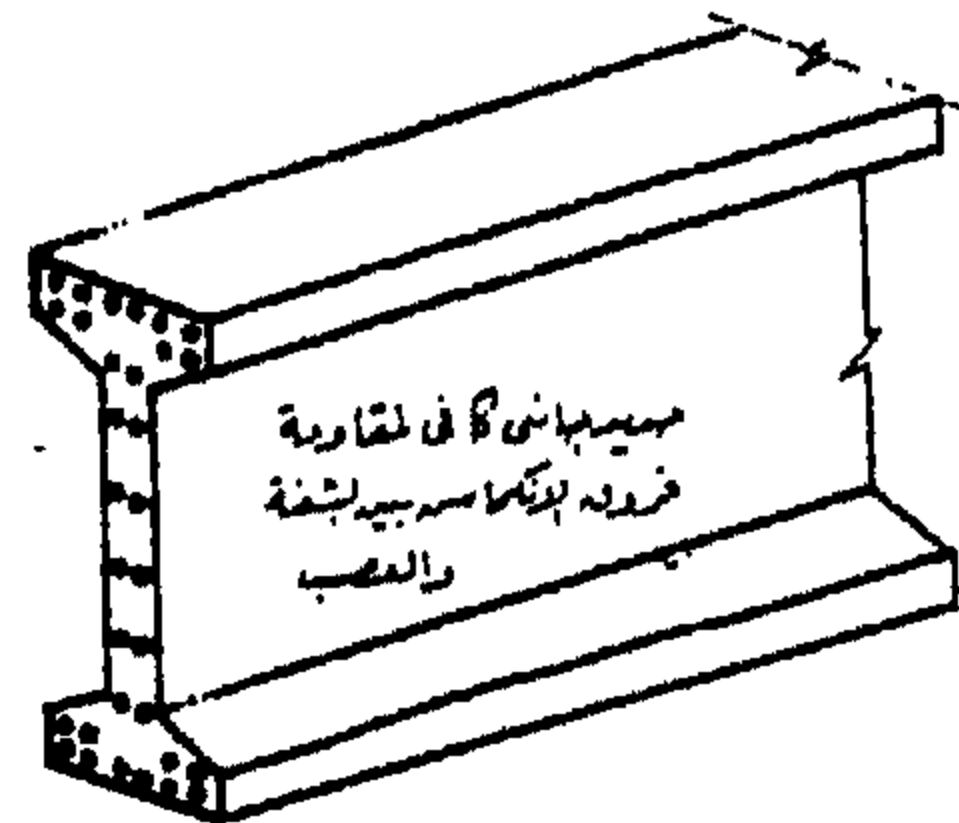


شروع التثبيت
العتبات بالخرق
بريد من قبة
الارتفاع منه الجيد ويجب
استيعاب في الشروع إذا كان
الخرق غير كافياً.

الصواب التي تكافئ الغير منظم



مبدأ التسليح
كاف في المقاومة
والارتفاع والارتفاع منه الجيد ويجب
استيعاب في الشروع إذا كان
الخرق غير كافياً.



مبدأ التسليح
كاف في المقاومة
والارتفاع والارتفاع منه الجيد ويجب
استيعاب في الشروع إذا كان
الخرق غير كافياً.

الوصلات (الخرسانة الجاهزة)



شروع التثبيت
العتبات بالخرق
بريد من قبة
الارتفاع منه الجيد ويجب
استيعاب في الشروع إذا كان
الخرق غير كافياً.

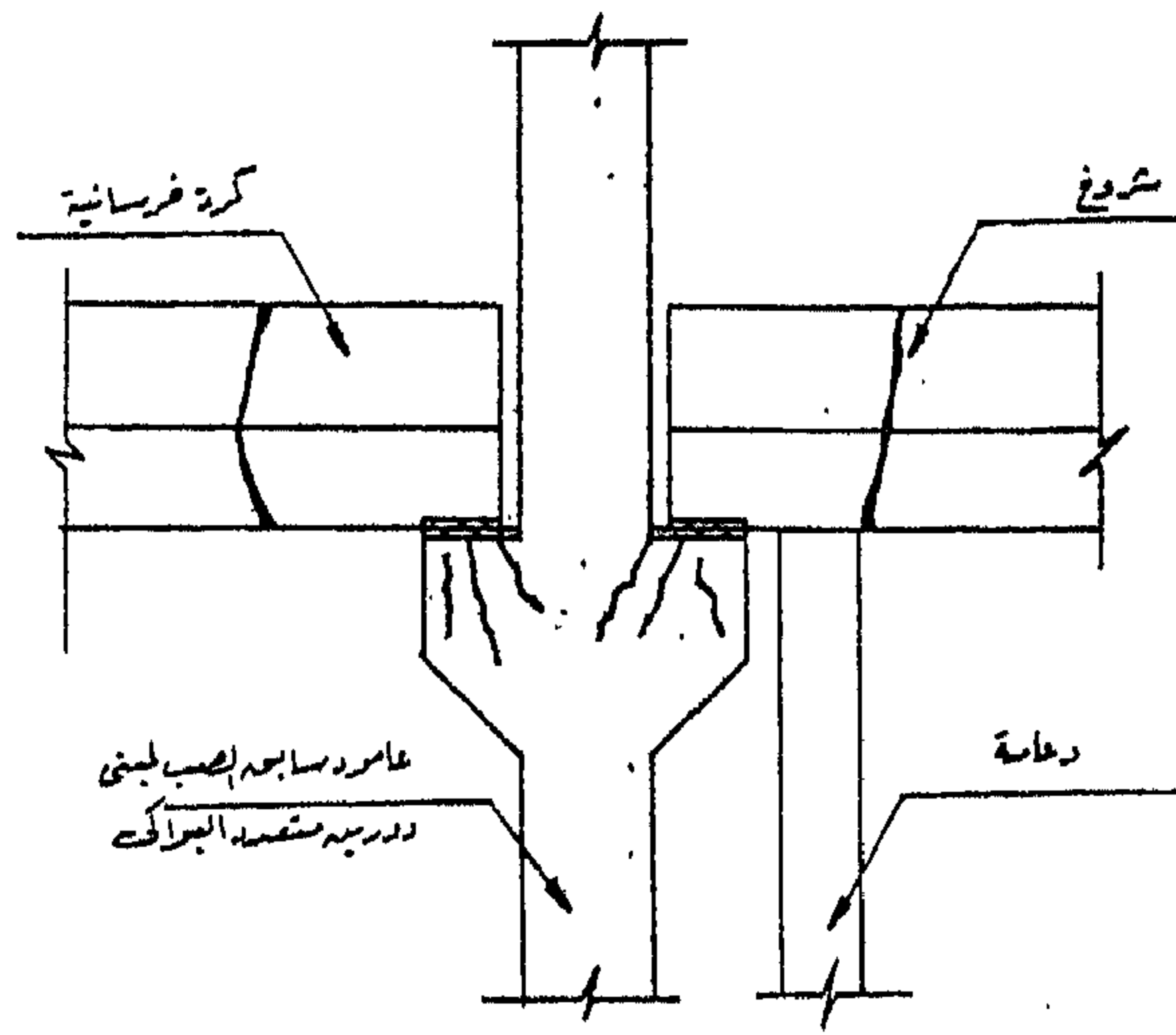
شكل (٤ / ٥) أخطاء التصميم المسببة للشروع

وسيحْدث قيد على الحركة عند تغير القطاع تغيراً مفاجئاً حيث سيكون تأثير التغيرات الحرارية والانكماش مختلفاً على جانبي هذا التغير في العمق - شكل (٤ / ٥٣ - ى) - ونفس الشيء يمكن أن يقال عن اتصال الأعضاء النخيفة بالركائز السمكية - شكل (٤ / ٥٠ - هـ) - وفي حالة كمّرات الكبارى على شكل حرف I فإن انكماش وتمدد العصب يختلف عن مثيله في الشفة ويزيد الموقف سوءاً أن يكون تسليح الشفة ثقيلًا ، حيث يقلل التسليح كلا من الانكماش والتمدد الحرارى للشفة ، وينتج عن ذلك تولد إجهادات شد في العصب تسبب شروخاً به ، إلا إذا تم تسليحه تسليحاً جانبياً كافياً لمقاومة هذه الإجهادات - شكل (٤ / ٥٠ - و) - والقيد على حركة الأعضاء المستوية ينشأ من ربط حديد البلاطة في البلاطات المحيطة أو في القواعد ، أما إن كانت البلاطة حرة الحركة من جوانبها كلها في اتجاه مركزها فاحتمالات التشريح قليلة جداً ، ولذا يجب تصميم فواصل التقلص والركائز المحيطية لتحقيق ذلك ، ويجب السماح للكمّرات بالحركة ، وفي المنشآت ذات الأعضاء سابقة الشد المصبوبة في مكانها والتي لا يسمح فيها بالتقلص ، فإنها تصبح عرضة للتشريح سواء الأعضاء نفسها أو الركائز - شكل (٤ / ٥١) وشكل (٤ / ٥٢) .

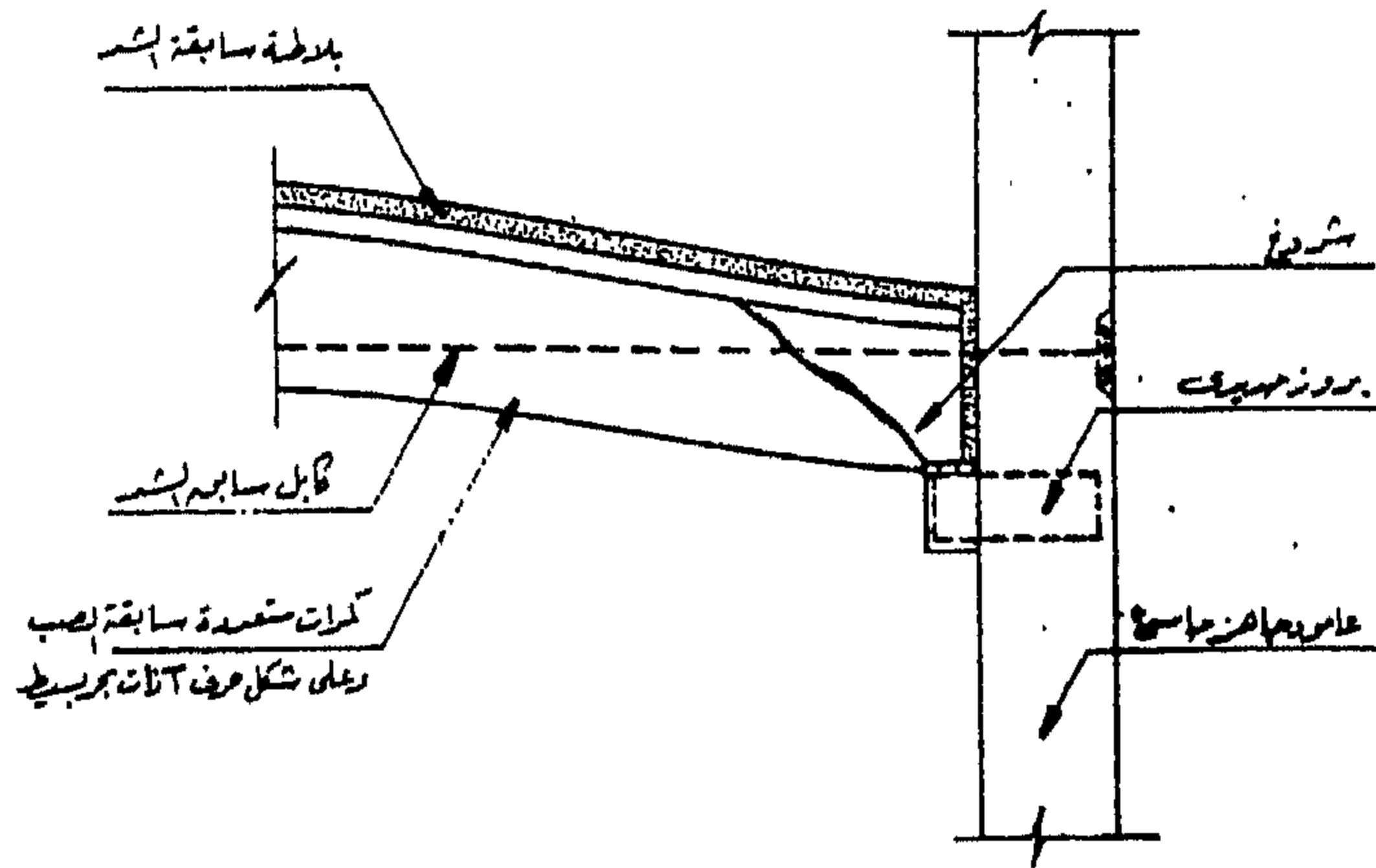
وتصبح مشكلة القيد على الحركة أكثر خطورة في الأعضاء الإنشائية سابقة الشد وسابقة الصب التي قد تكون ملحومة بالركائز عند نهايتها ، وعندما تتجمع هذه المشكلة مع مشاكل أخرى مثل مشكلة الأركان Reentrant corners ، فإن النتيجة قد تكون كارثة (٢٩) و (٣٠) .

وتشمل المراجع (١١) ، (١٢) ، (٣٢) احتياطات التصميم التي تقلل من تأثير القيد الخارجى على الحركة ، وفي حالة ما إذا كان عدد الوصلات كافياً - وصلات التمدد والتقلص وليس وصلات الإنشاء contraction joints - وعلى مسافات متقاربة فإن ذلك سيققل تأثير القيد على الحركة ، وبالنسبة لوصلات الإنشاء - وصلات الصب - فإن الوضع الأمثل أن يقترح المهندس المنفذ مكانها ويعرضها على المصمم للموافقة عليها ، ومع هذا فهناك بعض التصميمات التي تحد من استعمال وصلات الصب إلا في أماكن معينة - مثل الوصلات الملحوظة Featured joints - في الخرسانة الظاهرة ، وهذه الوصلات يجب أن تبين بوضوح على اللوحات التنفيذية .

ويجب أن يكون المصمم قادراً على تزويد المنشأ بوصلات الحركة اللازمة - وصلات



شكل (٥١ / ٤) القيد على الحركة الأفقية لكمرات خرسانية
(مرجع ٢٨)



شكل (٥٢ / ٤) القيد على الحركة الدورانية للنهايات
(مرجع ٢٨)

التمدد والانكماش والهبوط - وأن يكون قادرا على حساب مقدار هذه الحركة حتى يمكنه حساب ممتولية المادة التي ستستخدم فى ملء هذه الفواصل ، وفى ملحق رقم (١) مثال عملى بالأرقام لحساب الحركة فى الخرسانة لاستخدامها فى تحديد مرونة المادة المألعة للشروخ .

وبالنسبة لصب البلاطات والحوائط المستمرة فقد جرت العادة على صبها بطريقة الصب المتعاقب - تصب بلاطة وتترك التالية ، ثم تصب التى تليها ، وهكذا ... - ولو كانت البواكى المصبوبة أولا والبواكى التى تصب بعدها بأطوال متقاربة ، فإن الفحص المتأنى لأسس تكون الشروخ فى هذه الحالة ، يظهر أن هذه الطريقة ليس لها ما يبررها فنيا للأسباب الآتية :

أ - لو تم وقف حديد التحكم فى الشروخ عند وصلات الصب ، فإنه لن يكون هناك قيد على الحركة ، وفى هذه الحالة يصبح تتابع الصب غير ذى موضوع - أى يمكن صب البواكى بالتتابع بدلا من صب باكية وترك أخرى .

ب - ولو كان طول الباكىة المصبوبة كبيرا جدا بحيث تظهر شروخ داخلية فإن تأثير القيد على الحركة الموجودة بطرف الباكىة لن يضيف جديدا .

هـ - الأساسات :

قد يؤدى التصميم غير السليم للأساسات إلى حدوث فروق هبوط كبيرة داخل المنشأ ، ولو كانت فروق الهبوط صغيرة لما كانت مشكلة التشريح إلا مشكلة مظهر فقط ، أما لو كانت فروق الهبوط كبيرة فإن المنشأ قد لا يكون قادرا على إعادة توزيع الأحمال بسرعة كافية ، وقد يحدث انهيار فى جزء أو كل المبنى ، وتعتبر إحدى مميزات المباني من الخرسانة المسلحة أن فروق الهبوط لو حدثت على فترة من الوقت طويلة بدرجة كافية فإن الاسترخاء نتيجة الزحف سيسمح على الأقل ببعض إعادة توزيع الأحمال أن تحدث .

٢ / ٤ / ٢ - التفاصيل الإنشائية :

إن التفاصيل السليمة لصلب التسليح والقطاعات الخرسانية يمكن أن تمنع أو على الأقل تحد من حدوث الشروخ ، وفى المقابل فإن أخطاء تفاصيل الحديد أو نقص البيانات فى القطاعات الخرسانية - الخاصة بقيمة الغطاء الخرسانى أو الفواصل أو الحديد الإضافى - يمكن أن تسبب تشريخا شديدا .

٢ / ٤ / ٢ - أخطاء تفاصيل صلب التسليح :

وهذه الأخطاء يمكن أن تكون كالآتى :

- عدد كبير من الأسياخ فى صف واحد ، مما يؤدى إلى أن المسافات بين الأسياخ لا تحقق الحد الأدنى اللازم لمرور ركام الخرسانة فيحدث تعشيش - شكل (٤ / ٥٣ - أ) .

- استخدام أسياخ تسليح متفاوتة تفاوتاً كبيراً فى أقطارها ، أو استخدام الصلب العادى مع الصلب عالى المقاومة فى نفس المكان ، وكلاهما سيؤدى إلى أن تكون الإجهادات المتولدة حول الأسياخ الكبيرة - أو المصنوعة من الصلب عالى المقاومة - أكبر كثيراً من تلك المتولدة حول الأسياخ الرفيعة - أو المصنوعة من الصلب العادى - شكل (٤ / ٥٣ - ب) .

- عدم كفاية طول الرباط عند الركائز ، مما يؤدى إلى شروخ قرب الركيزة - شكل (٤ / ٥٣ ك ، م) .

- عدم كفاية طول الحديد العلوى الممتد من الكابولى إلى البحر المجاور (أقل من ١ مرة طول الكابولى) - شكل (٤ / ٥٣ - ن) - أو عند نهاية الكمرة - شكل (٤ / ٥٣ - ل) - أو عدم وجوده أصلاً فى البلاطات ذات الأعصاب (Waffle slab) - شكل (٤ / ٥٣ - د) - أو عند التغير فى العمق - شكل (٤ / ٥٣ - هـ) - حيث يكون انكماش الجزء النحيف من البلاطة مقيداً بعدم انكماش الأعصاب أو الكمرات بنفس الدرجة مما يسبب الشروخ فى غيبة الحديد العلوى ، كما يلزم استخدام شبكة علوية للانكماش فى البلاطات التى يزيد سمكها عن ٢٠ سم - شكل (٤ / ٥٣ - ج) .

- عدم توضيح الحديد القطرى حول فتحات حوائط القص لمقاومة إجهادات القص المتركة عند أركان الفتحات - شكل (٤ / ٥٣ - ش) .

- استخدام أسياخ رأسية رفيعة - أقل من ١٣ مم - فى الحوائط المرتفعة - ٣ م أو أكثر - مما يؤدى إلى انبعاجها وعدم وجود غطاء خرسانى كاف فى منطقة الانبعاج - شكل (٤ / ٥٣ - د) .

- عدم كفاية الحديد الأفقى فى الحوائط لمقاومة إجهادات الانكماش المقيد أو عدم

كفايته ليحفظ الحديد الرأسى من الانبعاج - يستحسن أن يكون الحديد الأفقى فى القطاع الخرسانى موضوعا خارج الحديد الرأسى ليوفر التحزيم الكافى شكل (٤ / ٥٣ - د) .

عدم كفاية الكانات : وقد يأخذ شكل الكانات الطويلة غير المقسمة - المسافة بين أفرع الكانات لا تزيد عن ٣٠ سم ، شكل (٤ / ٥٣ - هـ) - أو عدم زيادة الكانات فى مناطق تركيز الإجهادات مثل تركيز الإجهادات فى الجزء السفلى من رجل الإطار عند الوصلة المفصلية - شكل (٤ / ٥٣ - ز) - أو عدم زيادتها فى الجزء العلوى من عامود رفيع يحمل عاموداً أكبر عرضاً وعدم زيادتها فى الجزء السفلى من العامود العلوى كذلك - شكل (٤ / ٥٣ - ط) - أو عدم زيادتها عند النهايات النحيفية للكبرات العميقة - شكل (٤ / ٥٣ - س) .

٢ / ٤ / ٢ - نقص البيانات :

- وهى إما عدم توضيح قيمة الغطاء الخرسانى - ويلاحظ أنه يقاس من خارج الأسياخ أو الكانات الخارجية ، ولا يقاس من حديد التسليح الرئيسى - ويختلف باختلاف العضو (بلاطة - كمر - عامود - أساسات) ، كما يختلف باختلاف الظروف المعرض لها العضو - انظر جدول رقم (٧ / ٧) بالباب السابع - ويجب توضيح الغطاء الخرسانى للحديد العلوى لمنع حدوث شروخ الهبوط لللدن - شكل (٤ / ٥٣ - جـ) .

- وإما عدم توضيح لأماكن وتفاصيل الفتحات والجوايط والأجزاء المدفونة اللازمة لأعمال الصرف والتكييف وتثبيت الماكينات .. إلخ .

- أو عدم توضيح لأماكن فواصل التمدد والانكماش ، وكذلك مقدار التحديد للبلاطات والكمرات والكوابيل فى المنشآت الخاصة ذات البحور الكبيرة ، وفواصل الصب فى المنشآت التى تحتوى أو تحجز السوائل - المطلوب عدم تسرب مياه منها .

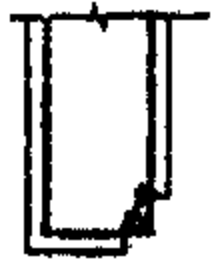
وأهمية التفاصيل الجيدة تتناسب مع نوع المنشأ وأنواع الأحمال الواقعة عليه ، فالمنشآت التى تسبب الشروخ فيها مشكلة أساسية فى تأدية المنشأ للغرض المصمم من أجله لا بد أن تولى عناية خاصة ، ليس فقط بالنسبة للتفاصيل ولكن كذلك فى كل مراحل التنفيذ ، لىتم التأكد من وضع التفاصيل المرسومة بعناية موضع التنفيذ ، وعموما كلما زادت التفاصيل الإنشائية كلما كان ذلك أدهى لأن يتم الإنشاء حسب ما تم التصميم على أساسه .

العيوب التي يمكن أن تحدث

الخطأ

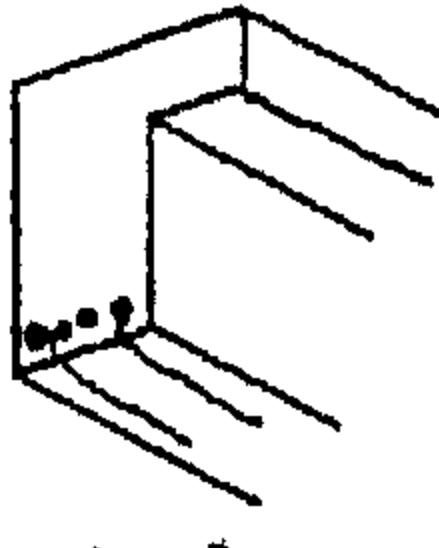
الصواب

- شروخ أفقية عند مشوب الأسياخ
- تقاطع الفطار والرسات
- صلا الحديد



- تقصير الرسات
- صلا الحديد

- شروخ إنكماشية نتيجة جفاف الرسات



- شروخ طولية نتيجة الدشبات في إجهادات التماسك بين الأسياخ

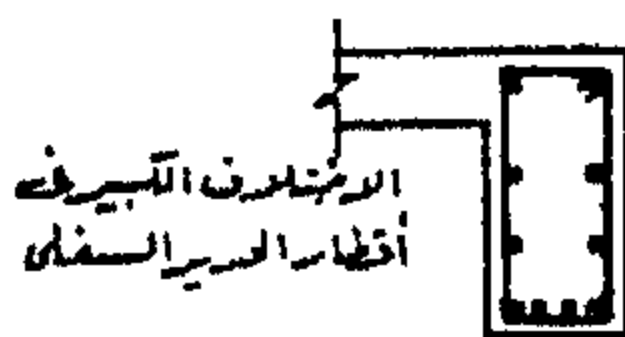
- لا توجد رسات كافية بين أسياخ الشد



- لا توجد كميات لقط المساحة بين صفوف الحديد



- لم يوضع حديد إنكماش في كميرات الشد يربط حديد ١٠ سم



١٢٤٢ + ٢٠٤٢

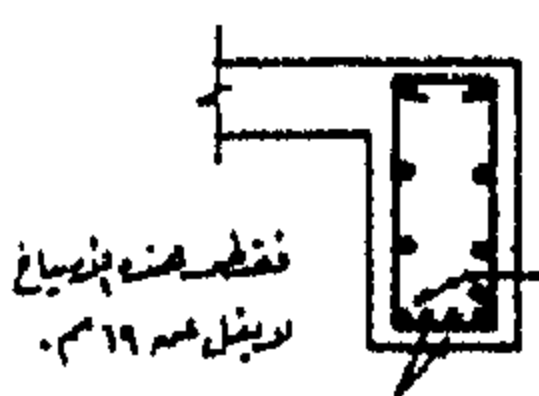
الكمرات:

حديد يانوس (إنكماش)



- تقاطع لقط المساحة بين الصفوف
- الدشبات لا تقل عن القيم لقط في المصحات

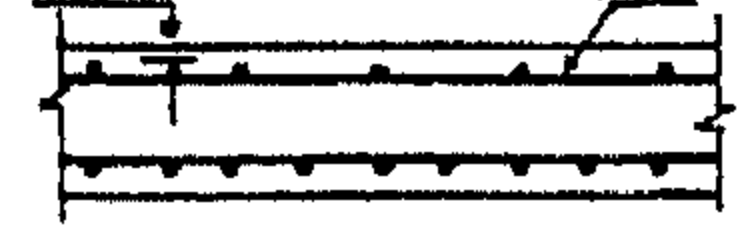
(ب)



- إنكماش هذه الأسياخ بقطر ١٠ سم
- لقط حديد ١٠ سم

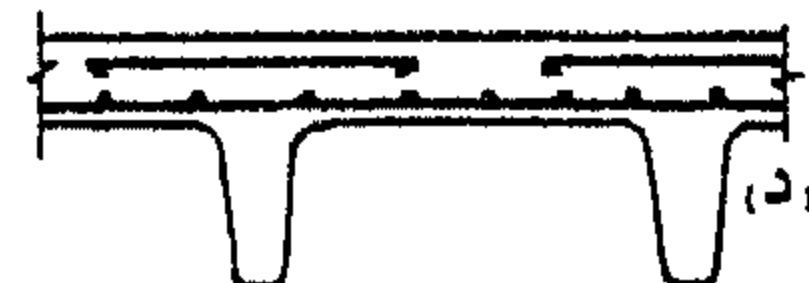
البلاطات:

- الفطار لا يقل عن ١٠ سم
- شبكة علوية



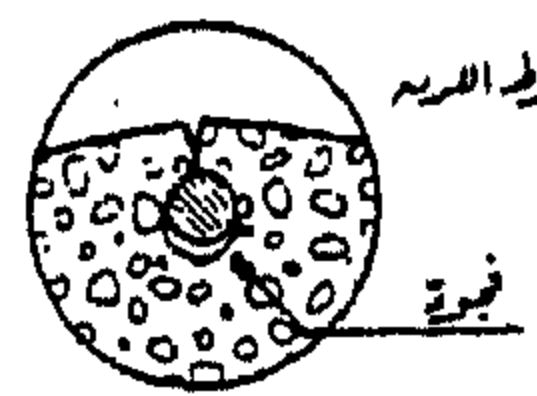
- بطانات بسلك ١٠ سم أو أكثر

- البلاطات ذات الأضراس

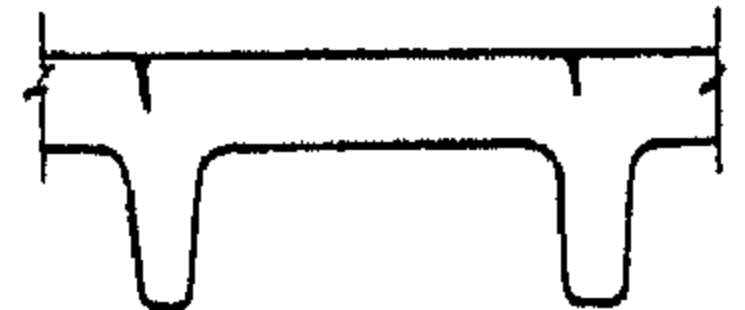


(د)

- شروخ إنكماشية نتيجة جفاف الرسات ونهاية في الجو الجاف



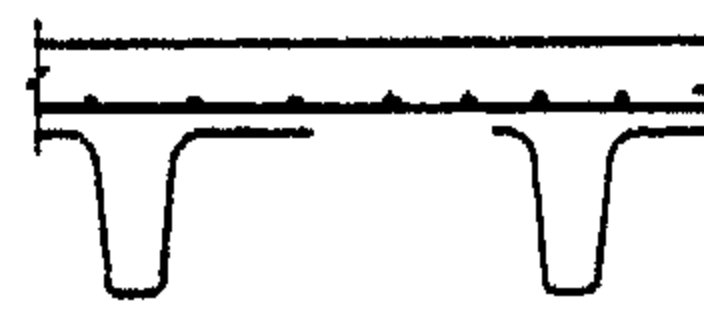
- شروخ إنكماشية نتيجة تغير الحجم



- عدم وجود شبكة علوية (سلك كل ١٠ سم)

- الحديد العلوي قريب جداً من السطح (عدم توصيل الفطار للحديد العلوي)

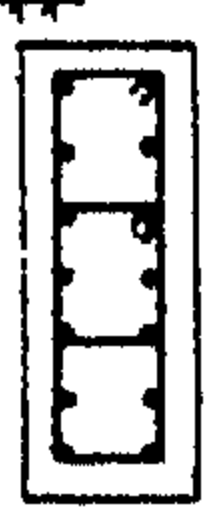
- عدم وضع حديد علوي



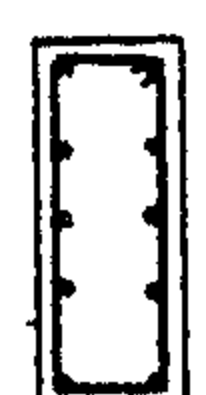
الأعمدة

(هـ)

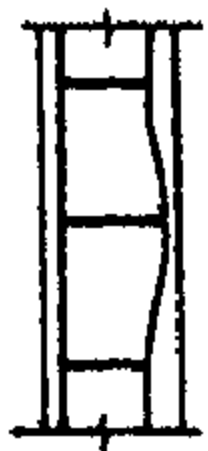
- الفطار
- الرسات
- لا يقل عن ١٠ سم
- حديد
- ملاصق
- الشد



- كانة واحدة في عمود
- لميل



- عدم توصيل الفطار بالرسات للعمود الخارجية خاصة في الظروف الحارة القاسية

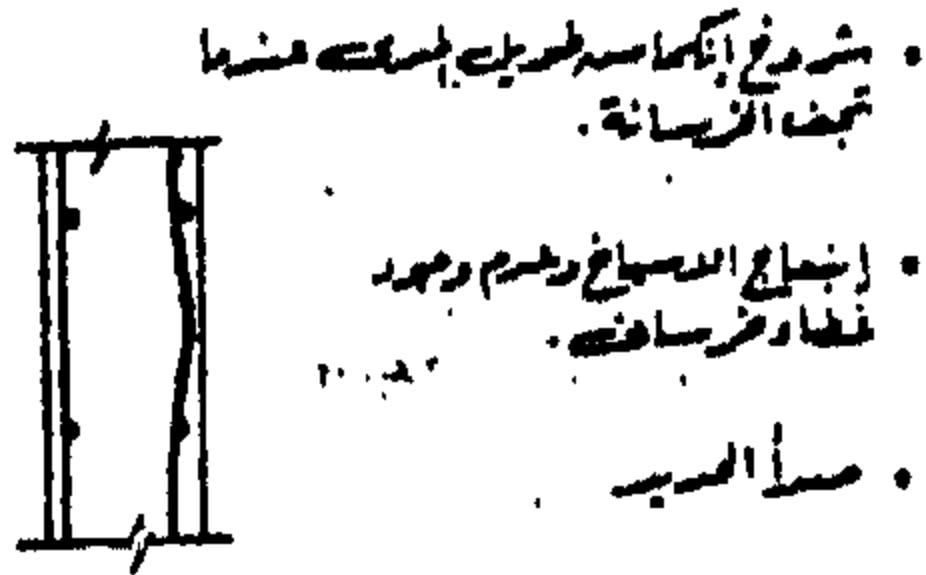


- انبعاج الحديد
- عدم دمج حديد الفطار
- كانة له ثم يصر

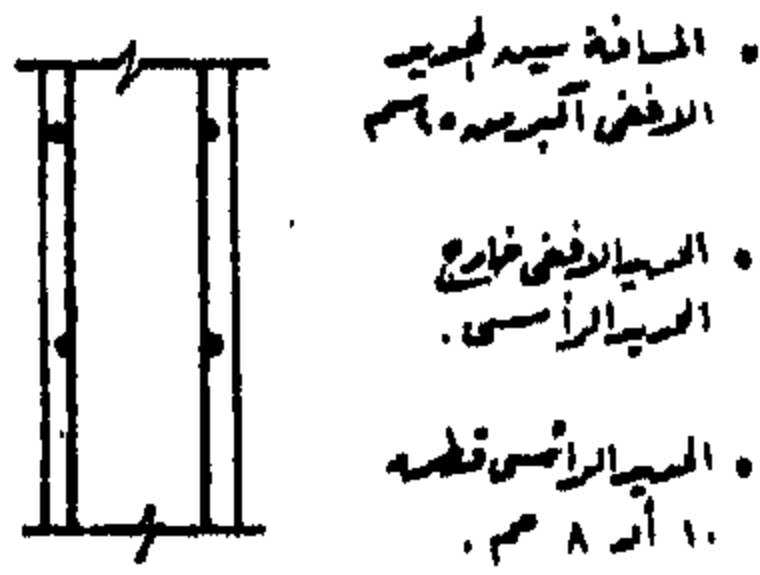
- صلا الحديد ونقاط الفطار والرسات

شكل (٤ / ٥٣) أمثلة على أخطاء التفاصيل الإنشائية الشائعة (القطاعات العرضية)

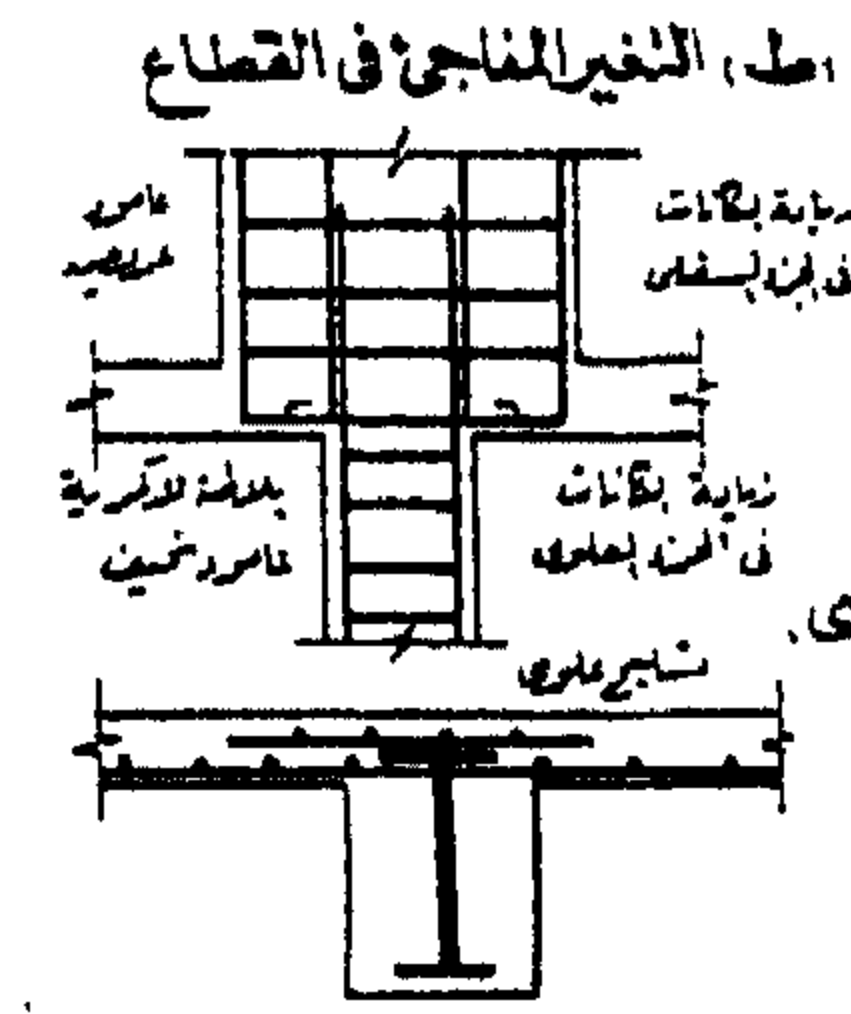
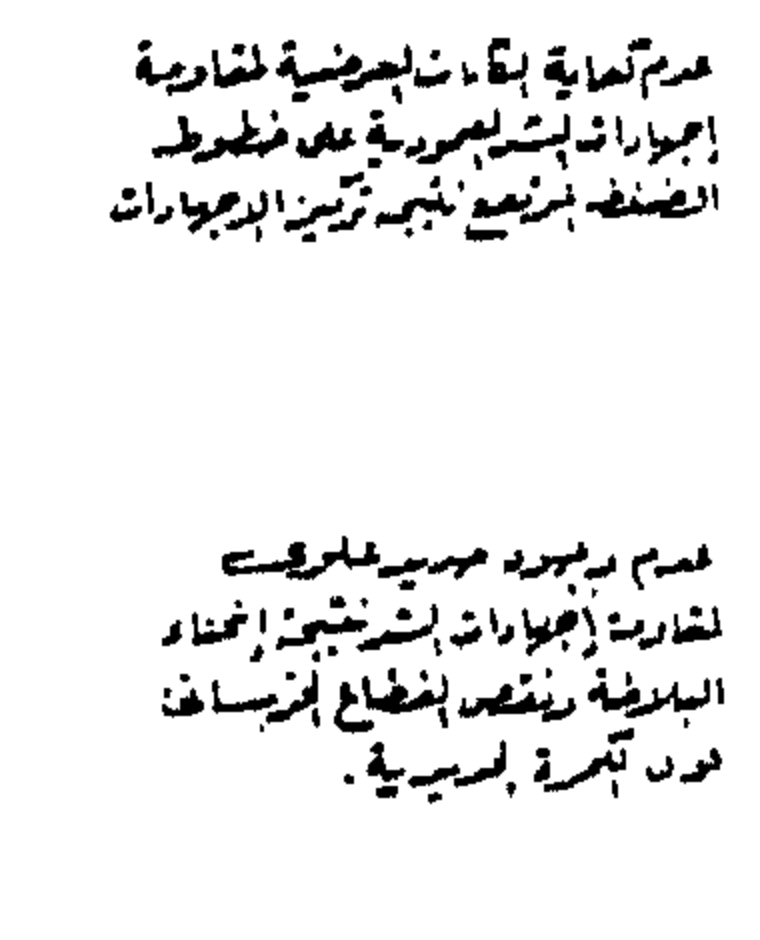
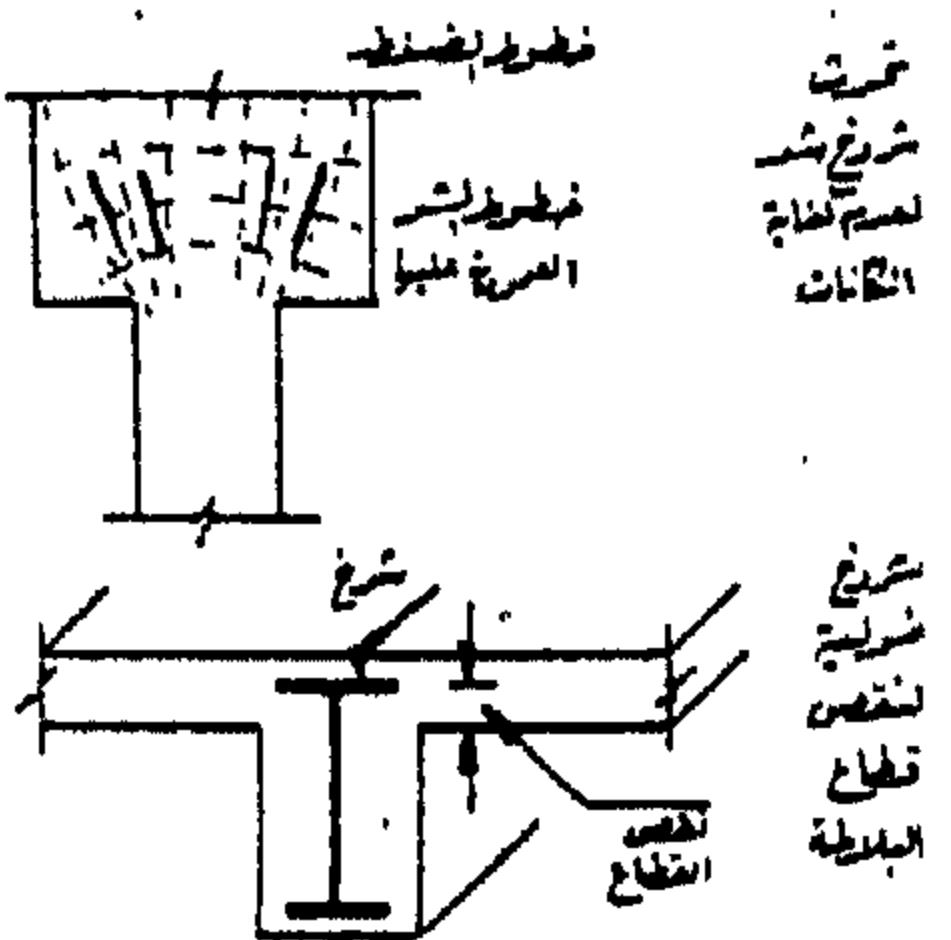
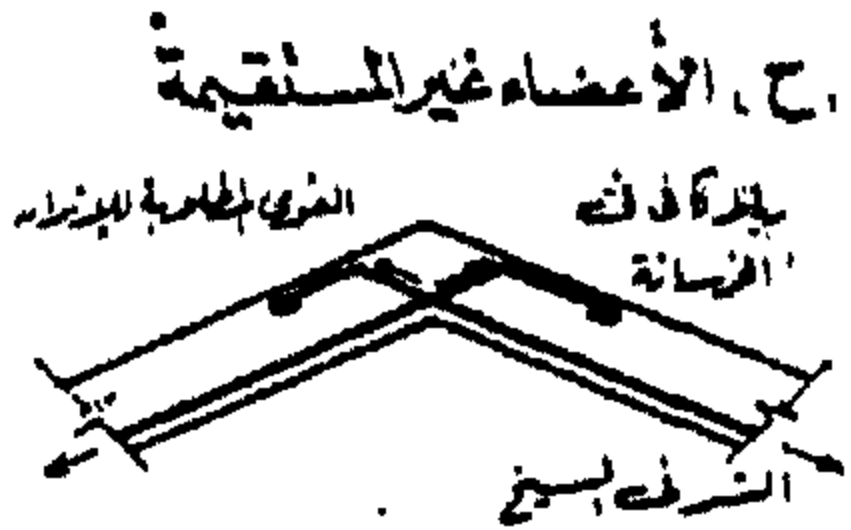
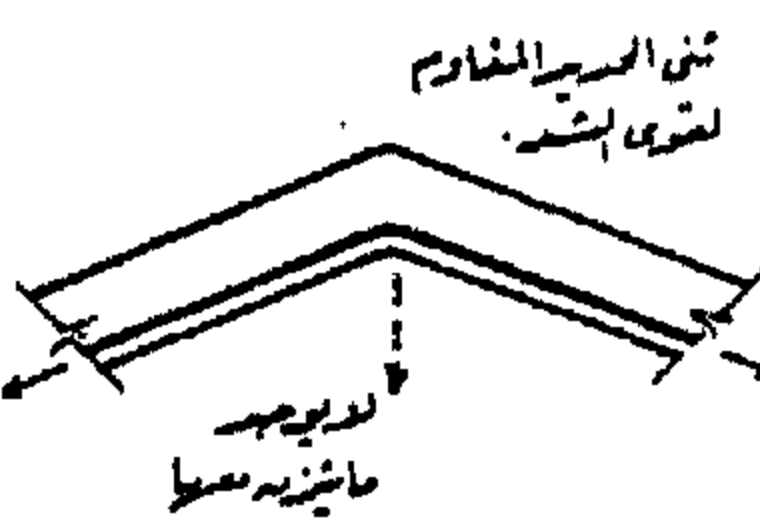
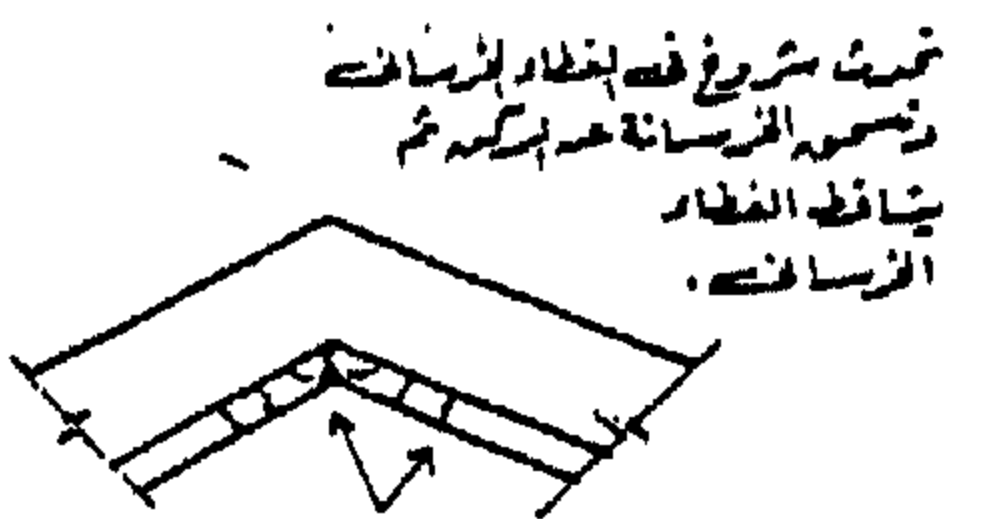
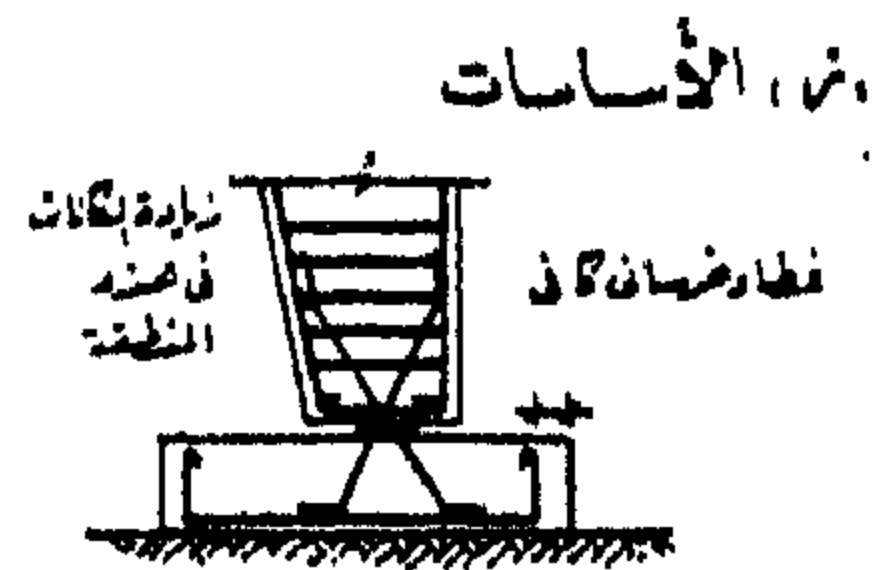
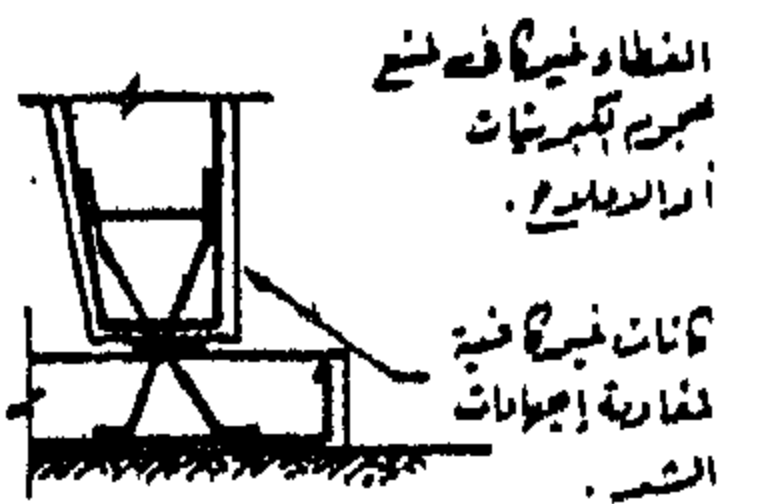
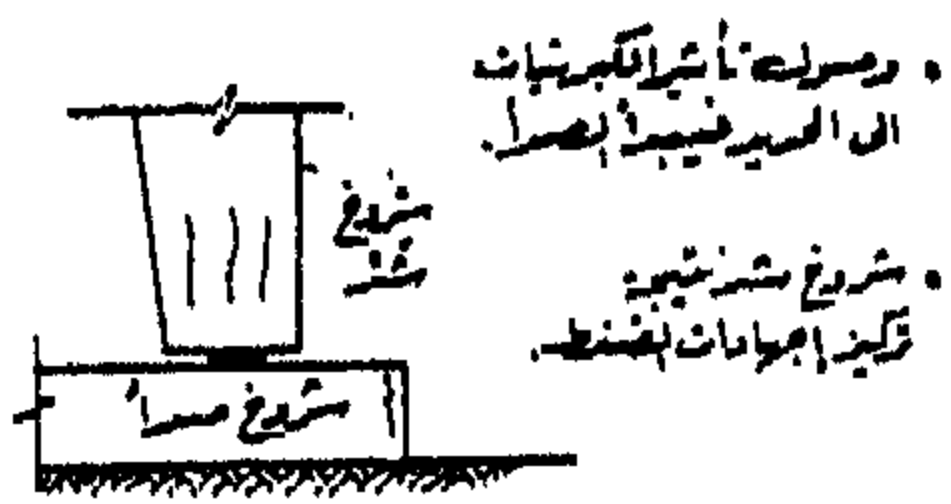
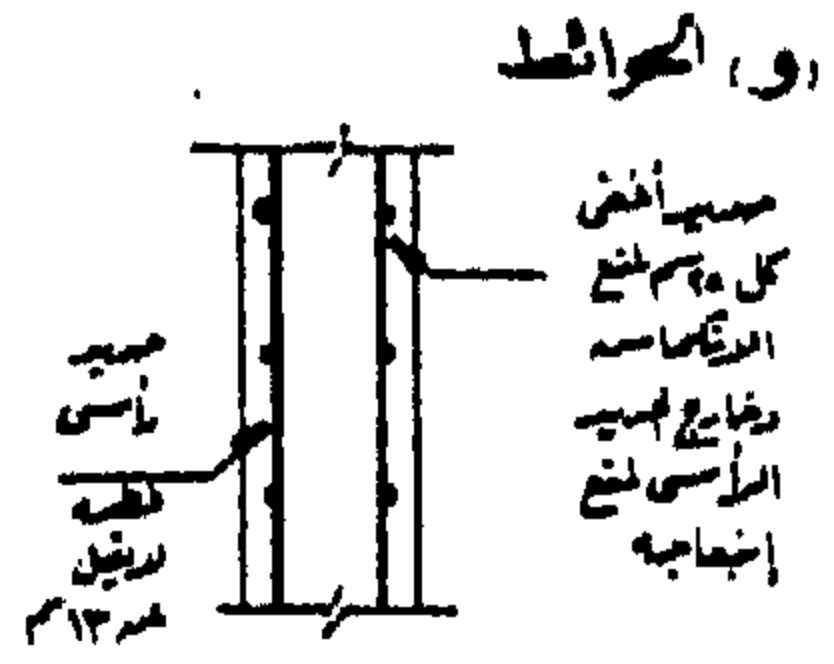
العيوب التي يمكن أن تحدث



الخطأ



الصواب



شكل (٤ / ٥٣) أمثلة على أخطاء التفاصيل الإنشائية الشائعة (القطاعات العرضية)

٢ / ٥ - التحميل الزائد :

٢ / ٥ / ١ التحميل الزائد أثناء الإنشاء أو نتيجة الحوادث :

الحوادث كثيرة أثناء وبعد التنفيذ ، وهى تتراوح من حوادث بسيطة مثل حدوث صدمة بحمل ثقيل على بلاطة أو عامود ، إلى حوادث جسيمة مثل فقدان إحدى الركائز - الأعمدة - فى الدور الأرضى نتيجة اصطدام عربة ثقيلة بها ، وتعتبر حوادث انفجار الغاز فى المباني من الوحدات الجاهزة والتى تؤدى إلى فقدان بعض الأعضاء الإنشائية من النوع الثانى ، والحوادث الجسيمة لن تؤدى فقط إلى حدوث شروخ خطيرة ولكنها قد تؤدى إلى انهيار جزئى أو كلى للمنشأ .

والمنع الكامل للحوادث غير ممكن ، وإن كانت هناك بعض الاحتياطات لتقليل التلف الناجم عنها ، فأعمدة الدور الأرضى أو البدروم وخاصة إذا كان فى جراج يمكن حمايتها بأسوار قليلة الارتفاع ولكنها من مواسير حديدية قوية ، والانهيار المتتابع (Progressive collapse) يمكن أخذه فى الاعتبار عند تصميم المباني السكنية من الوحدات الجاهزة ، ويمكن إضافة حديد خاص لتقليل تأثير هذا النوع من الحوادث ، وأثناء الإنشاء إذا تم اتباع قواعد الأمن الصناعى بحزم ، فإن عدد الحوادث سيقول ، كما أن التلف الناجم عنها سيكون فى حيز ضيق .

والأحمال التى تتعرض لها الأعضاء الخرسانية أثناء التنفيذ يمكن أن تكون أكبر كثيراً من تلك الواقعة عليها أثناء استعمال المبنى ، ومن سوء الحظ أن ظروف التحميل هذه تطرأ فى الأعمار المبكرة للخرسانة عندما تكون أكثر عرضة للتلف ، ومن الأمثلة المتكررة لذلك فك شدة السقف بعد ٣ أو ٤ أيام ، ثم وضع شدة السقف التالى عليه وصبه ، فإذا لم يكن السقف السفلى مصلوباً - مدعماً - جيداً أثناء صب السقف العلوى فإنه سيكون معرضاً لحمل يكافئ مجموع حمل الأرضية والحمل الحى الذى سيؤثر عليه بعد انتهاء الإنشاء ، وهذا يعنى أن البلاطات والكمرات محملة بالحمل التصميمى كله وعمرها لم يتجاوز الأسبوع ، ويمكن أن يكون هذا الحمل أيضاً مركزاً تحت أرجل الدعائم الرأسية للسقف العلوى مما يزيد من تأثيره ، ويمكن فى هذه الحالة ظهور شروخ شعيرية سواء فى السطح العلوى أو السفلى للبلاطة المحملة تحميلاً زائداً .

كما أن تخزين مواد البناء والمعدات الثقيلة يمكن أن ينشأ عنه حالات تحميل أثناء

الإنشاء أكثر حدة من أى حالة تحميل تم تصميم المنشأ أو أجزاء منه لتحملها ، فقد يتم تخزين معدات ثقيلة أو براميل مياه أو أسياخ حديد أو شكاير أسمنت بطريقة خاطئة فوق الكوابيل مما ينشأ عنه حدوث شروخ انحناء وشروخ قص بها ، وللأسف فمن الصعب التحكم الكامل فى مثل هذه الأحمال ، ولكن يمكن الحيلولة دون التلف الناجم عن هذه الأحمال الزائدة إذا قام المصمم بتوفير المعلومات الكافية عن حدود قدرة تحمل الأعضاء المختلفة للمنشأ ، وإذا قام أعضاء فريق التنفيذ باحترام هذه الحدود ، وفى حالة التخزين - مثلا - فلا بد أن يكون من المتعارف عليه فى التنفيذ ضرورة تدعيم أى سقف يستخدم للتخزين عليه بدعامات كافية على مسافات متقاربة .

وتغيير الغرض من استخدام عضو معين أو تغيير مكان الأحمال التى توضع عليه عن تلك المبينة فى اللوحات يمكن أن يسبب أحمالا زائدة ، فمثلا بناء حوائط جديدة ليست فى اللوحات الأصلية ودون أن يكون تحتها كمرّة تسبب حملا زائدا على البلاطة ، كما أن فى المصانع يقوم العاملون بتحميل خطافات على الهياكل المعدنية الحاملة للسقف وذلك لرفع الماكينات الثقيلة وتحريكها من مكانها إلى مكان آخر ، وقد يكون السقف الأخير فى مصنع أو مبنى مصمما لتحمل أحمال قليلة ولكنه يستخدم فى تخزين المواد الثقيلة كالكتب ، وهذه المسببات للتشريح يمكن تلافيها عندما يتم اتباع القواعد والتعليمات الخاصة باستعمال كل جزء من أجزاء المبنى .

ويمكن أن تتعرض الأعضاء السابقة الصب للأحمال الزائدة أثناء النقل والتركيب إذا لم تكن مسنودة بطريقة سليمة ، واستعمال أى مكان لرفع هذه الأعضاء منه قد يسبب تلفا شديدا لها ، فلا بد من تزويد هذه الأعضاء بخطافات خاصة بالتعليق وقطع حديد وغيرها من الأجزاء التى تظهر فى اللوحات أو التى يتم أخذ موافقة المصمم عليها ، ويجب أن يتحلى العاملون على أجهزة الرفع بالدقة ويعلمون أنه يمكن أن يحدث تلف للأعضاء حتى تلك التى تعلق من الخطاطيف الخاصة بذلك ، فإن تنزيل كمرّة كبيرة أو حائط ضخمة بسرعة ثم التوقف فجأة ، يسبب قدرا كبيرا من طاقة الحركة التى تتحول إلى قوة صدم يمكن أن تكون أكبر عدة مرات من وزن العضو ، ومن أساليب الرفع الشائعة التى ينبغى تجنبها رفع أحد أركان الحائط ليرتفع قليلا عن قاعدته أو لتخليصه إذا كان محشورا .

وقد تؤدي الصدمة الحرارية (Thermal shock) إلى تشريح الخرسانة المعالجة بالبخر إذا تمت معالجتها بطريقة غير سليمة ، فأقصى معدل تبريد يجب أن يكون حوالى ٢٠ م /

ساعة (٣٣) ، وعند استخدام ركام قصف أو عندما تكون القدرة على الانفعال قليلة فإن هذا المعدل يجب تخفيضه ، وحتى باتباع هذه المعدلات فإن الشروخ نتيجة التبريد تظهر عادة .

٢ / ٥ / ٢ - التحميل لمدة طويلة Long - term Loading :

يؤدي كل من التحميل لمدة طويلة والأحمال على دورات (Cyclic Loading) إلى زيادة الشروخ الشعرية في الخرسانة ، ويظهر أن العدد الكلى للشروخ الشعرية دالة في الانفعال الكلى ولا يعتمد - إلى حد كبير - على طريقة التأثير بهذا الانفعال ، وهناك احتمال كبير أن تكون الشروخ الشعرية نتيجة الأحمال لمدة طويلة بتأثير الزحف وليست سبباً له ، كما أن الشروخ الشعرية المتكونة عن أحمال التشغيل لا يظهر أن لها تأثيراً كبيراً على المقاومة أو أدائية (Serviceability) الخرسانة غير المسلحة ، ولكن تأثير التحميل لمدة طويلة والأحمال المتكررة على الشروخ الشعرية يمكن أن تكون عاملاً مؤثراً على أدائية الأعضاء الخرسانية ، وخاصة بالنسبة لصدأ الحديد ومظهر الخرسانة .

والزيادة في اتساع الشروخ نتيجة التحميل لمدة طويلة أو الأحمال المتكررة ، يمكن أن يتراوح من ١٠ ٪ إلى ١٠٠٠ ٪ ، وذلك إذا كان التحميل لعدة سنوات (٣٤) ورغم أن هناك تبعات كبيرة في النتائج فإن المعلومات المتاحة للتحميل لمدة سنتين واختبارات الكلال (Fatigue tests) حتى مليون دورة ، تبين أن اتساع الشروخ ممكن أن يتضاعف مع الزمن ، أما المسافات بين الشروخ فلا تتغير مع الوقت تحت أغلب الظروف إذا كان مستوى الإجهادات ثابتاً ، ومن المتوقع أن تكون أكبر نسبة للزيادة في اتساع الشروخ في الأعضاء المعرضة للانحناء والمحملة بمستوى منخفض من الأحمال ، حيث إن الشروخ تحتاج إلى وقت لكي تتكون .

ويؤدي التحميل لمدة طويلة أو تحت تأثير الأحمال المتكررة إلى شروخ بنفس الاتساع وعلى نفس المسافات سواء بالنسبة للخرسانة المسلحة والخرسانة سابقة الإجهاد ، وإن كان معدل تكون الشروخ أسرع بدرجة ملحوظة تحت تأثير الأحمال المتكررة (٣٤) .

وتحت تأثير الأحمال الأولية تكون الشروخ الملاصقة لصلب التسليح محدودة نتيجة التماسك بين الحديد والخرسانة ، وعلى ذلك فلا يعطى اتساع الشروخ السطحية مؤشراً جيداً عن مدى تعرض الصلب لظروف الصدأ ، ولكن بعد فترة من الوقت يبدأ التماسك بين الصلب والخرسانة في الانفصام ، وبعد حوالي سنتين يصبح عرض الشروخ عند صلب

التسليح مساويا لعرض الشرخ عند السطح^(٣٥) ، وفى هذه المرحلة تكون الشروخ فى الأعضاء المعرضة للانحناء ذات شكل مثلثى ، حيث يزيد اتساع الشرخ من محور التعادل إلى بطنية الكمرة وتكون الشروخ منتظمة السعة بعرض الكمرة ، ولذا فبعد عدة سنوات يعطى عرض الشرخ السطحي تقديرا جيدا عن عرض الشرخ عند مستوى صلب التسليح .

٢ / ٦ - الزحف Creep :

يعرف الزحف بأنه زيادة الانفعالات تحت تأثير إجهاد ثابت ، وانفعالات الزحف تتغير بمرور الوقت ، ويمكن أن تصل قيمتها إلى عدة أضعاف الانفعالات نتيجة أحمال التشغيل ، ولذا فمن المهم دراسة تأثير الزحف على الأعضاء الخرسانية .

ورغم تعدد الأبحاث حول ظاهرة الزحف فى السنوات الأخيرة فما زال من الصعب التنبؤ بدقة بقيمة الزحف وتأثيره على إعادة توزيع الإجهادات والتشكيل فى المبانى القائمة ، ولعل ذلك يرجع إلى كثرة العوامل المؤثرة فى قيمة الزحف ، ومنها :

١ - جودة الخلطة الخرسانية ومحتوى الأسمنت بها ، ونسبة الماء : الأسمنت .

٢ - خواص الركام المستخدم .

٣ - الظروف الجوية المحيطة وخاصة الحرارة والرطوبة .

٤ - حجم العضو الخرساني .

٥ - نوع وقيمة الإجهاد الثابت .

ولا توجد حالات انهيار نتيجة الزحف بمفرده ، ولكنه عامل يساعد على تصدع الخرسانة فى بعض الحالات ، حيث يزيد من الترخيم ، ويعمل على توسيع الشروخ التى تنشأ من عوامل أخرى ، إذا كان العضو ممنوعا من الحركة فإن زيادة الانفعالات نتيجة للزحف قد تؤدي إلى تشريح الخرسانة .

ولكن للزحف أيضا تأثيره النافع على التشريح - كما تم إيضاحه فى قسم ٣ / ١ / ١ من الباب الثالث - فالزحف يؤدي إلى تقليل الإجهادات التى يسببها انفعال ثابت الانكماش مثلا ... مع الوقت ، وفى الأعضاء غير المحددة استاتيكية (Statically indet.)

structures) نجد أن للزحف تأثيرا نافعا جدا ، حيث يخف من تركيز الإجهادات نتيجة الأوزان والانكماش والتغير في درجة الحرارة والهبوط وغيرها .

وقد أظهرت التجارب أن الزحف والانكماش يزيدان بدرجة ملحوظة مع زيادة درجة الحرارة ، وخاصة إذا استمرت لفترة طويلة ، فقد أظهرت التجارب - مثلا - أن الترخيم نتيجة الزحف عند درجة حرارة ٦٠ م ولأحمال ثابتة لمدة ٢٤ ساعة يمكن أن يكون ثلاثة أضعاف الترخيم عند درجة ٢٠ م ، ويستمر الزحف مع الوقت في الأعضاء المعرضة لأحمال ثابتة لسنوات عديدة ولكن معدل زيادة انفعالات الزحف يقل حتى يصبح ضئيلا يمكن إهماله ، وبالتقريب يمكن أن نقول : إن ربع الزحف الكلى يحدث في أول شهر ونصفه يحدث في أول سنة ، وقيمة الزحف الكلى تتراوح بين ٨٧ - ٢ × ١٠ - ٤ لكل نيوتن / م ٢ ويمكن أخذ قيمة متوسطة هي ١ × ١٠ - ٤ لكل نيوتن / م ٢ من الإجهاد - أى أن إجهاد ضغط قيمته ٢٠٠ كجم / سم ٢ يسبب زحفا قيمته الكلية ٢٠ ، ٠ - ويزيد الزحف بدرجة ملحوظة بزيادة الحرارة والرطوبة المحيطة بالعضو .

وقيمة الزحف الكلية لعضوين لهما نفس خصائص الخرسانة وأحدهما معرض لإجهادات ضغط والآخر لإجهادات شد تقريبا متساوية ، ولكن في العمر المبكر للخرسانة فإن الزحف في العضو المعرض لإجهادات شد يكون أكبر كثيرا من لو كانت الإجهادات نتيجة الضغط ، ولذا فإن فك شدة الكمرات - بطنية الكمرة - قبل أن تتصلد وتصل إلى مقاومتها القياسية يمكن أن يؤدي إلى ترخيم زائد وشروخ بالكمرات ، وأى قيد على حركة الزحف نتيجة منع العضو من الحركة قد تسبب مشاكل كذلك .

٢ / ٧ - فروق الهبوط Differential Settlement :

تحدث فروق الهبوط أساسا بسبب عدم تجانس التربة ، كما أنها قد تحدث بسبب الحفر في موقع مجاور أو سحب الماء منه أو إنشاء مبنى جديد مرتفع بالموقع المجاور ، أو الهبوط غير المتساوى نتيجة الفجوات والأنفاق الصغيرة الموجودة بالتربة ، أو نتيجة عدم انتظام خواص التربة في الاتجاه العرضي ، أو نتيجة الأحمال غير المتساوية على القواعد المنفصلة ، أو نتيجة الإنشاء بجوار المجارى المائية - شكل (٤ / ٥٤) - وتحديد قيمة الهبوط الذى سبب تشرخا واضحا في الأجزاء الإنشائية أو الأجزاء المعمارية أو كليهما هي مشكلة معقدة حسابيا نظرا لتأثرها بعوامل متعددة ، منها :

نوع وحجم المنشأ ، خواص مواد الإنشاء ، خواص التربة من حيث معدل ومدى انتظام الهبوط ، النسبة بين طول المنشأ وارتفاعه ، النسبة بين جساءة الانحناء وجساءة القص ، النسبة بين جساءة المنشأ وجساءة التربة .

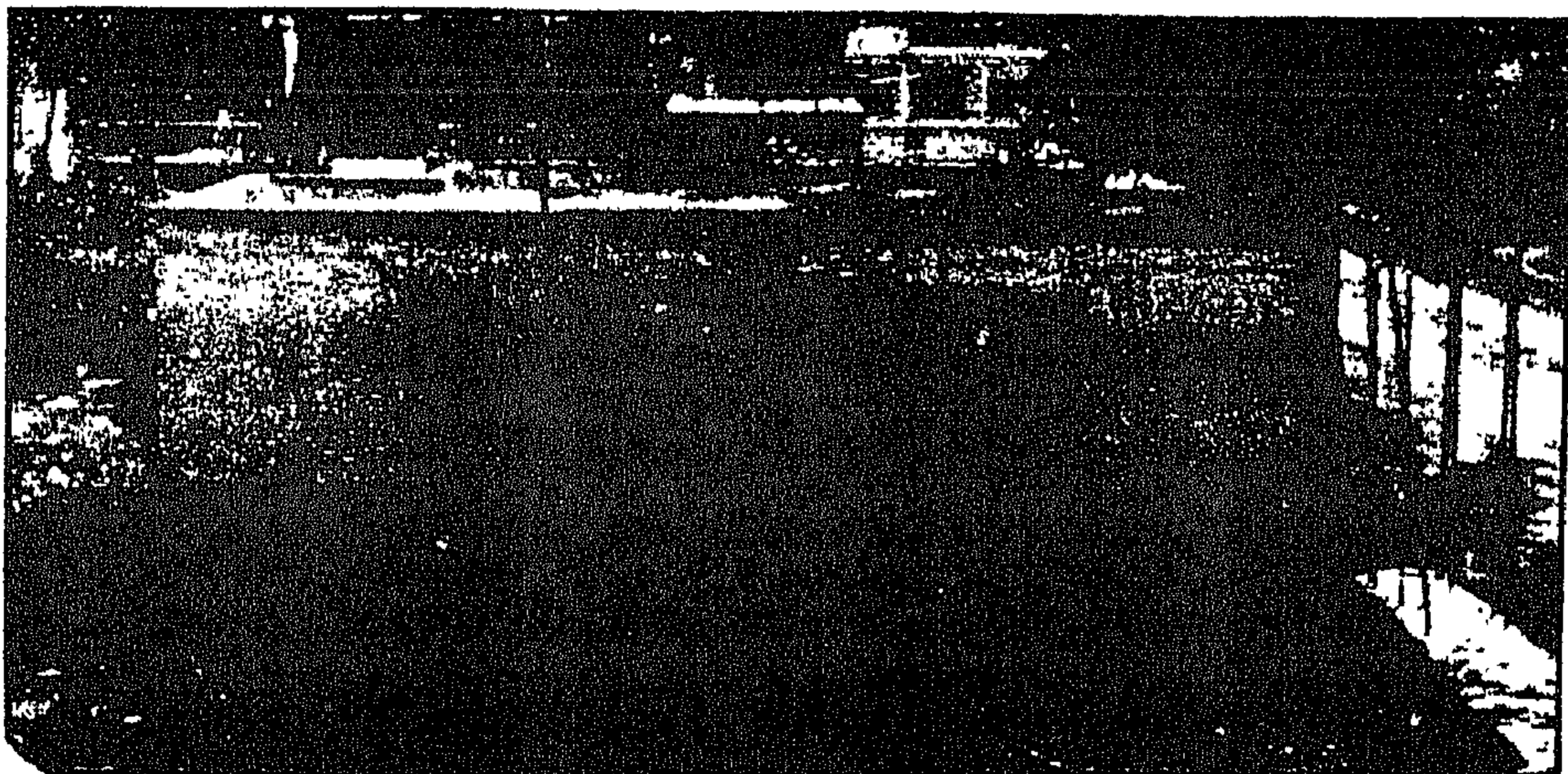
وبسبب هذه العوامل المتعددة المتداخلة لم يتم تحديد فرق الهبوط الحرج - الذى يسبب التشريح - حسابيا ، وإنما بنيت كل طرق تحديد قيم الهبوط المسموح به على ملاحظات الهبوط والتشريح فى المباني القائمة فعلا ، وفى معظم هذه الطرق يتم تقدير مقدار التلف وربطه بقياسات فروق الهبوط لتحديد فرق الهبوط المسبب لكل مستوى من مستويات التلف ، ثم يتم محاولة ربط فروق الهبوط هذه بالهبوط الكلى للمبنى .

وتقريبا كل الطرق الحالية لتعيين مقدار الهبوط المسموح به للأنواع المختلفة من المباني مبنية على الدراسة الكلاسيكية بكل من مرجع (٣٦) ، (٣٧) ، (٣٨) ، فمرجع (٣٦) مؤلفاه من الأساتذة الإنجليز ، وقد قاما بتسجيل ملاحظات الهبوط والتلف لحوالى ٩٨ مبنى ، وخرجا من هذه الملاحظات باستنتاج أن تشريح الحوائط الحاملة أو الحوائط الطوب فى المباني الهيكلية محتمل الحدوث إذا زادت زاوية الهبوط (Angular distortion) - وهى الفرق بين هبوط نقطتين متجاورتين مقسوما على المسافة بينهما - على ١ / ٣٠٠ ، وأن التلف فى الأجزاء الإنشائية محتمل الحدوث عندما تزيد زاوية الهبوط عن ١ / ١٥٠ .

أما مؤلفا مرجع (٣٧) وهما من الأساتذة الروس ، فقد قدما فى هذا البحث الخبرة الروسية كما ظهرت فى مواصفات سنة ١٩٥٥ الخاصة بطرق تحديد الهبوط المسموح به ، وهذه الطرق المبنية على خبرة ٢٥ عاما من قياسات الهبوط وملاحظة الشروخ ملخصة فى جدول (٣/٤) .

ومرجع (٣٨) به قيما متعددة لزوايا الهبوط المسموح بها لأنواع مختلفة من المباني وهى مبينة فى جدول (٤/٤) .

وقد يتسبب فرق الهبوط فى حدوث ميل فى المبنى بدون حدوث شروخ - شكل (٤/٥٥) - ولكنه ، غالبا يؤدى إلى شروخ قطرية ورأسية فى المباني ، وقد يؤدى إلى شروخ فى الأعمدة والكمرات - شكل (٤/٥٦) .



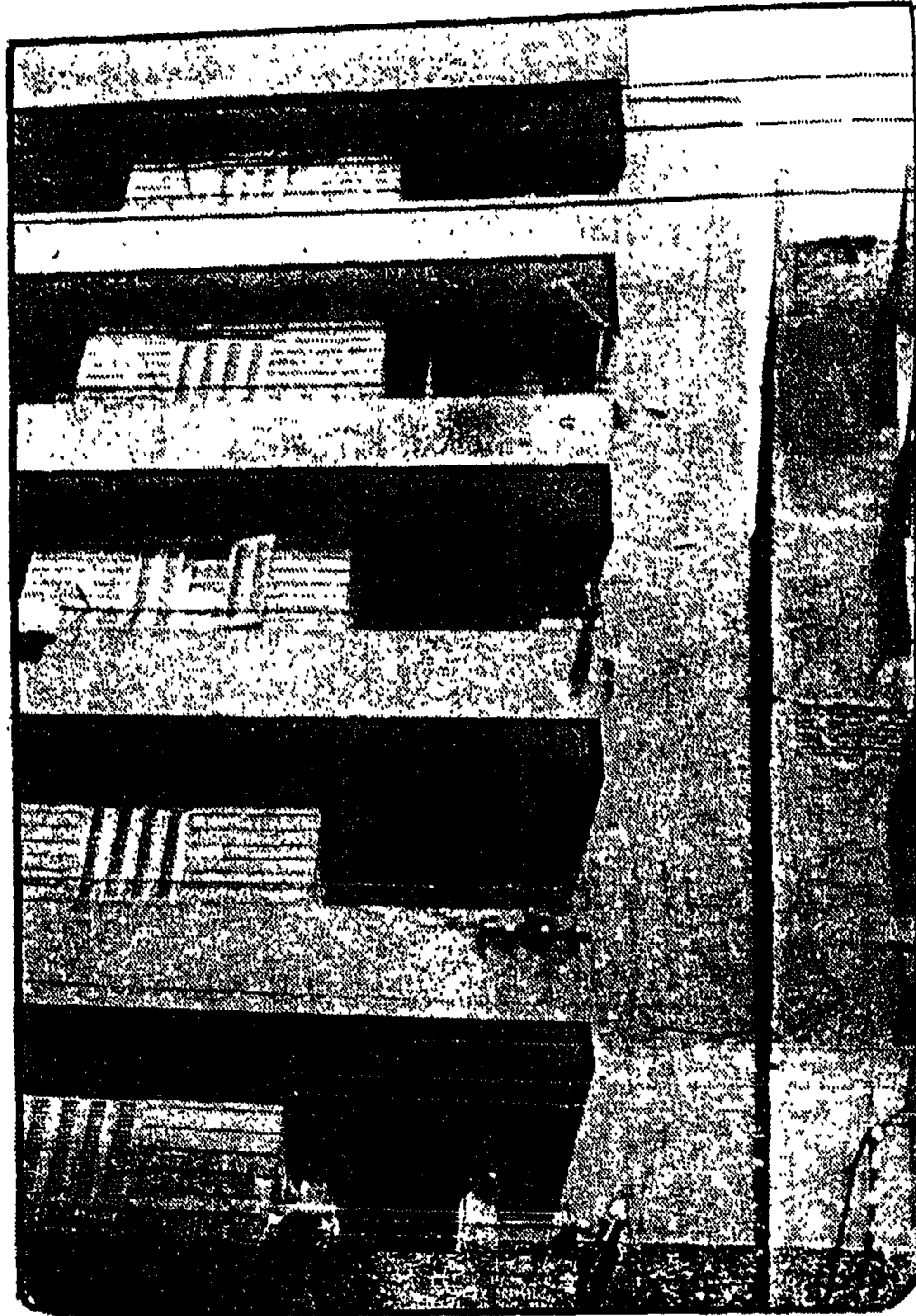
شكل (٤ / ٥٤) شروخ قطرية نتيجة هبوط الأساسات لوجود ترعة قرية

الحالة	مرجع (٣٦)	مرجع (٣٧)
تلف الأعضاء الإنشائية	١٥٠ / ١	٢٠٠ / ١
شروخ في الحوائط	٣٠٠ / ١ (ولكن يوصى بأن نكون ٥٠٠ / ١)	٥٠٠ / ١ (من ١٠٠٠ / ٧ إلى ١ / ١ ١٠٠٠ للبواكلى الطرفية)

جدول (٤ / ٣) الحدود المسموح بها لزوايا الهبوط للمباني الهيكلية

درجات التلف المحتمل حدوثها	زوايا الهبوط Angular distortion
« خطر على الهياكل ذات الأعضاء الرابطة	٦٠٠ / ١
« الحد المفتوح لسلامة المبنى من الشروخ	٥٠٠ / ١
« بداية تشريح الحوائط	٣٠٠ / ١
« ميل المباني الجاسئة ذات الارتفاع يصبح ملحوظا	٢٥٠ / ١
« تشريح شديد للحوائط من الطوب أو غيره	١٥٠ / ١
« خطر حدوث تلف للأعضاء الإنشائية في المباني العادية	١٥٠ / ١

جدول (٤ / ٤) الحدود المسموح بها لزوايا الهبوط (٣٨)



شكل (٤ / ٥٥) ميل فى المبنى الأيمن نتيجة هبوط الأساسات



شكل (٤ / ٥٦) شروخ قطرية في الجوائط ورأسية بجوار الأعمدة
نتيجة فروق هبوط الأساسات

٢ / ٨ - أخطاء التنفيذ :

هناك مجموعة كبيرة من أساليب التنفيذ الخاطئة التي يمكن أن تتسبب في تشريح المنشآت الخرسانية ، وأكثر هذه الأساليب خطورة هو الخطأ الشائع بإضافة الماء إلى الخلطة الخرسانية لتحسين قابليتها للتشغيل ، وكذلك استعمال أساليب خاطئة في الصب والدمك والمعالجة ، ومما يزيد الطين بلة عدم التأكد من سلامة المواد المستعملة واستعمال مواد معيبة وسوء التخزين المؤدى إلى شك الأسمنت وصدأ صلب التسليح ، كما أن عدم التنفيذ السليم لفواصل التمدد والوصلات سوف يؤدي إلى حدوث شروخ .

٢ / ٨ / ١ - قصور في قراءة اللوحات / المواصفات :

القصور في قراءة اللوحات الإنشائية بالذات ينشأ عن :

١ - عدم الاهتمام بالتفاصيل المعطاة في اللوحات واعتماد مهندس التنفيذ على خبرته الشخصية .

٢ - عدم العناية بقراءة الملاحظات والتحذيرات الموجودة باللوحات .

٣ - عدم تتبع التعديلات المتتالية ، وأن يتم التنفيذ طبقاً لآخر تعديل .

٤ - ضعف الاتصال بالمهندس المصمم وعدم استيضاح النواحي الفنية منه .

وفي كثير من الأحيان يعطى المهندس اللوحات التنفيذية إلى رئيس عمال الحديد - الكوماندو - ورئيس عمال الصب وهما غير مؤهلين لقراءة اللوحات ، والواجب أن يقوم المكتب الفني بالعملية بعمل جداول تفريد الحديد ، ثم عمل أوامر شغل تشمل كل المتطلبات الخاصة بالمصمم عن نوع المواد المستخدمة ونسب خلطها ومقاومة مكعباتها وأماكن إيقاف الصب ... إلخ .

وعادة ما يتم دفع كراسة الشروط والمواصفات في أحد الأدراج وإغلاقه عليها بعد أن يكسب المقاول العطاء ، ولا يلتفت إلى هذه الكراسة أثناء التنفيذ ، مع أنها تحتوي الشروط الخاصة بالمواد ومواصفات تنفيذ كل بند على حدة ، ويجب أن تكون هناك نسخة من هذه الشروط والمواصفات بموقع العمل ليتم التنفيذ على أساسها .

٢ / ٨ / ٢ - استخدام مواد معيبة / سوء التخزين - شكل ٤ / ٥٧ بملحق الألوان - :

مواد الخرسانة المسلحة لها مواصفات خاصة يجب أن تستوفيها - الباب الثالث - والفشل في الحصول على مواد تستوفي هذه الشروط وتوريد مواد معيبة للموقع يجب أن يوقف عن طريق المهندس المشرف على التنفيذ الذى يقوم باستلام مواد الخرسانة الموردة للموقع وفحصها ، كما يقوم بعمل الاختبارات المعملية عليها للتأكد من مطابقتها للمواصفات .

واستخدام مواد معيبة يؤدي إلى شروخ في الخرسانة اللدنة والمتصلدة على حد سواء ، والأمثلة على ذلك كثيرة :

أ - فالركام المحتوى على نسبة عالية من الأتربة يضعف مقاومة الخرسانة ، وذلك المحتوى على طينة منتفخة يؤدي إلى تشرخ الخرسانة السطحية ، وإذا وجدت سيليكات نشطة في الركام فذلك سيؤدي إلى تفاعلها مع القلويات الموجودة بمونة الخرسانة ، كما أن عدم التدرج الحبيبي الجيد وضعف الركام الكبير لن ينتج خرسانة بالمواصفات المطلوبة ، ووجود جبس بالركام يؤثر تأثيراً ضاراً في الشروخ وصدأ الحديد .

ب - واستعمال أسمنت انقضت مدة صلاحيته أو شك جزء منه سيؤدي إلى نقص حاد في المقاومة ، كما أن استعمال أسمنت خشن سيؤدي إلى زيادة الإدماء وضعف الطبقة السطحية ونفاذية الخرسانة ، وفي المقابل فاستعمال الأسمنتات المحتوية على نسبة عالية من الحث تعطي خرسانة تتحمل مع الزمن ، ولها مقاومة عالية للتحويل الكربوني .

ج - واستعمال أسياخ التسليح الصدأ في منتهى الخطورة ، كما أن استعمال صلب تسليح غير مطابق للمواصفات من حيث نسبة الكربون والمطولية قد يؤدي إلى حدوث انهيار مفاجئ ، ووجود مواد تمنع التصاق الأسياخ بالخرسانة - زيوت - شحوم ... إلخ - تضعف التماسك بين الحديد والخرسانة ، وتقلل مقاومة القطاع شكل ٤ / ٥٧ .

د - والماء يمكن أن يكون سبباً في كثير من المشاكل ، والقاعد العامة أن الماء الصالح

للشرب يصلح للخرسانة المسلحة ، أما الماء غير الصالح للشرب فلا بد من تحليله كيميائيا قبل إجازته ، واستعمال ماء البحر فى خلط الخرسانة - تأثير شروط معينة ، وكذلك استعمال مياه الترعى بعد تنقيتها من الشوائب .

وسوء التخزين يشمل الظواهر الآتية :

١ - وصول المياه والرطوبة الأرضية إلى الأسمنت وأسياخ التسليح ، فيشك الأسمنت ويبدأ صلب التسليح فى الصدأ .

٢ - تساقط الزيوت والشحوم والأتربة على الركام أو على أسياخ التسليح مما يؤدي إلى تلوث سطحها .

٣ - عدم تغطية الأسمنت وأسياخ التسليح - وخاصة فى المناطق المطيرة - مما يؤدي إلى حدوث الشك والصدأ .

٤ - وصول الأتربة إلى الركام ، وهذه الأتربة تحد من قدرة الركام على تقليل انكماش الخرسانة ، كما أنها تضعف مونة الخرسانة .

٢ / ٨ / ٣ - عيوب فى صناعة الخرسانة :

صناعة الخرسانة هى العامل الرئيسى المؤثر على خواصها ، فالخرسانة مادة تصنع فى الموقع - ولا تنتج مركزيا ثم تنقل إلى الموقع - وخواصها الميكانيكية تعتمد بالدرجة الأولى على جودة عملية الصناعة هذه .

وتبدأ صناعة الخرسانة بتحديد خواص المواد المستعملة - وخاصة التدرج الحبيبي للزلط - تمهيدا لتصميم الخلطة الخرسانية بحيث تفى باحتياجات المقاومة والتحمل مع الزمن ، وفى نفس الوقت تفى باحتياجات القابلية للتشغيل المناسبة لطريقة الصب وطبيعة الجزء الجارى صبه ، وفى حالات خاصة يكون تصميم الخلطة وفقا لاشتراطات خاصة ، فالخرسانة المعرضة لدورات التجمد والذوبان يستحسن أن تكون من النوع ذى الهواء المحبوس ، وخرسانة المناطق الحارة يستحسن أن يكون إدمائها مقاربا للفقد السطحي للرطوبة لئلا تحدث شروخ الانكماش ، والخرسانة الكتلية يستحسن أن تكون حرارة الإمالة بها أقل ما يمكن ... وهكذا .

وخلط الخرسانة يستحسن أن يتم بالوزن - يمكن أن يتم بالحجم عن طريق صناديق

الكيل ولكن بدقة أقل - وفي محطات خلط للتحكم في كل المواد الداخلة في تصميم الخلطة ، ويستمر لمدة كافية لتحقيق التجانس في الخلطة ، ويجب عدم المبالغة في زمن الخلط .

ومن أكثر أساليب الخلط الخلطة شيوعا - سواء في الخلط اليدوي أو باستعمال الخلاطات الصغيرة - إضافة الماء إلى الخلطة لتحسين قابليتها للتشغيل - شكل (٥٨ / ٤)
بملحق الألوان - هذه المياه المضافة تؤدي إلى تقليل المقاومة وزيادة الهبوط اللدن وزيادة الانكماش الكلي للخرسانة عندما تجف ، وعندما يصاحب زيادة ماء الخلط زيادة في محتوى الأسمنت لمعالجة النقص في المقاومة ، فإن ذلك يعنى زيادة محتوى الماء سيؤدي أيضا إلى زيادة فروق الحرارة المتولدة عند الإماهة بين الأجزاء السفلى والعلية لبلاطات الأرضيات والخرسانات السميكة ، مما يزيد من الإجهادات الحرارية ويزيد من احتمالات التشريح .

واستعمال الإضافات التي تحسن القابلية للتشغيل - الملدنات (Plasticizers) أو فائقة اللدونة (superplasticizers) - يجب أن يسبقها معرفة كافية بتأثير هذه الإضافات ليس على مقاومة الخرسانة للضغط فحسب ولكن على خواصها الأخرى وخاصة الانكماش .

وكمية الإضافات في الخلطة الخرسانية مسألة حساسة جدا وخاصة إضافات تأخير زمن الشك ، وفي حالة نقل الخرسانة من محطة الخلط إلى موقع التنفيذ يجب ألا يسمح لسائق عربة خلاط الخرسانة بإضافة مؤخر الشك كلما عاقه المرور .

وأفضل طرق الخلط هو قلب المقاسات المختلفة للركام ثم رشها بالماء عند دخولها محطة الخلط كل على حدة ، ثم إضافتها بالوزن ، ويجب أن يكون الخليط منتظما إلى أقصى حد لتقليل التغير في اللدونة المشيرة للمتاعب .

٢ / ٨ / ٤ - عيوب صب الخرسانة ونهوها - أشكال (٥٩ / ٤) إلى (٦٥ / ٤) :

الصب من أماكن مرتفعة يؤدي إلى الانفصال الحبيبي ، كما أن عدم الدمك يؤدي إلى حدوث فجوات يصل منها الهواء والرطوبة إلى صلب التسليح ، وزيادة الدمك أو المبالغة في تسوية السطح عن الحد المعقول يؤدي إلى زيادة ظاهرة الإدماء ، وبالتالي إلى زيادة شروخ الخرسانة السطحية .



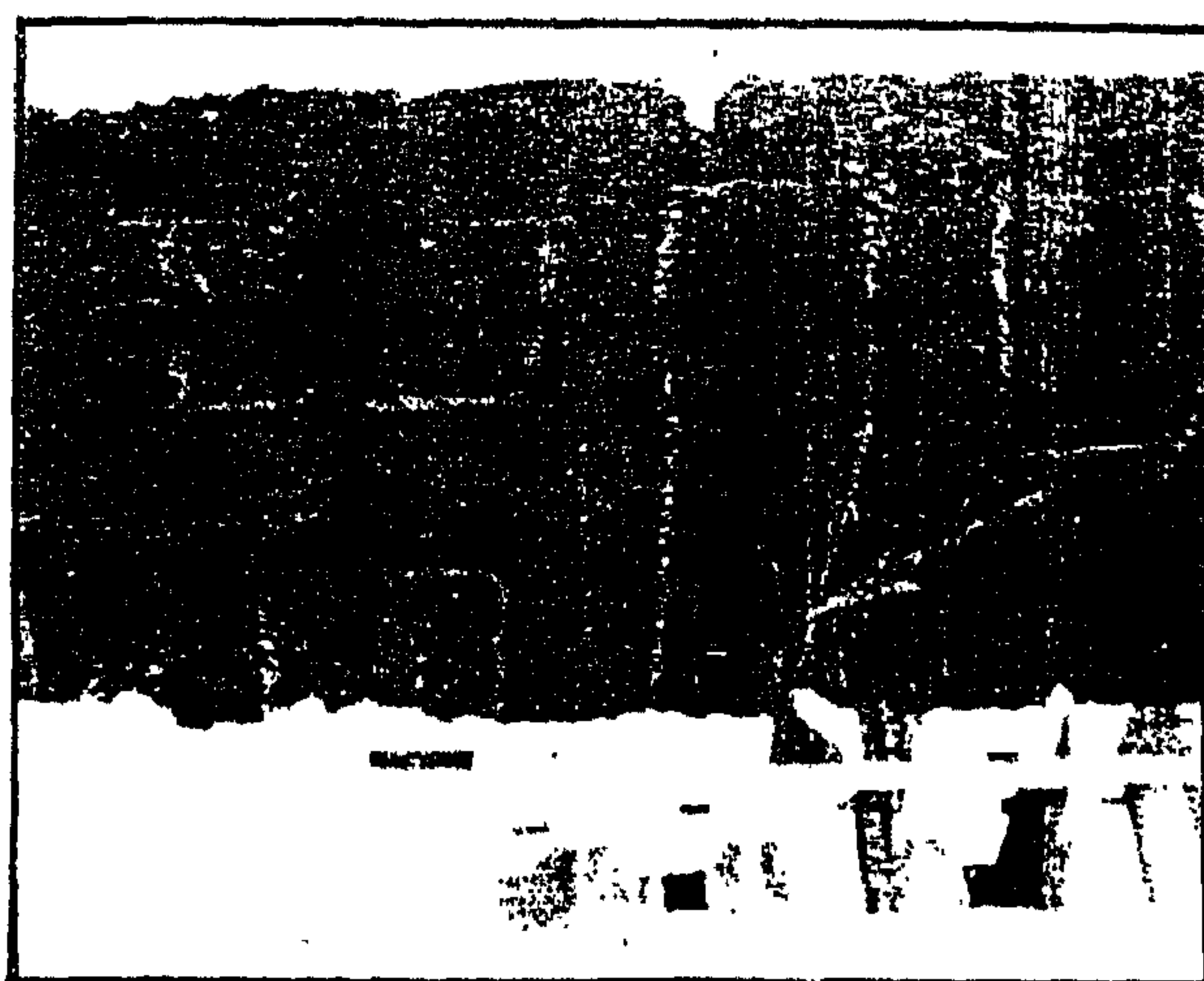
شكل (٤ / ٥٩) مثال للدمك السيء وعدم استعمال الهزاز



شكل (٤ / ٦٠) هز حديد الأعمدة لدمك الخرسانة يؤدي إلى سقوط الكانات



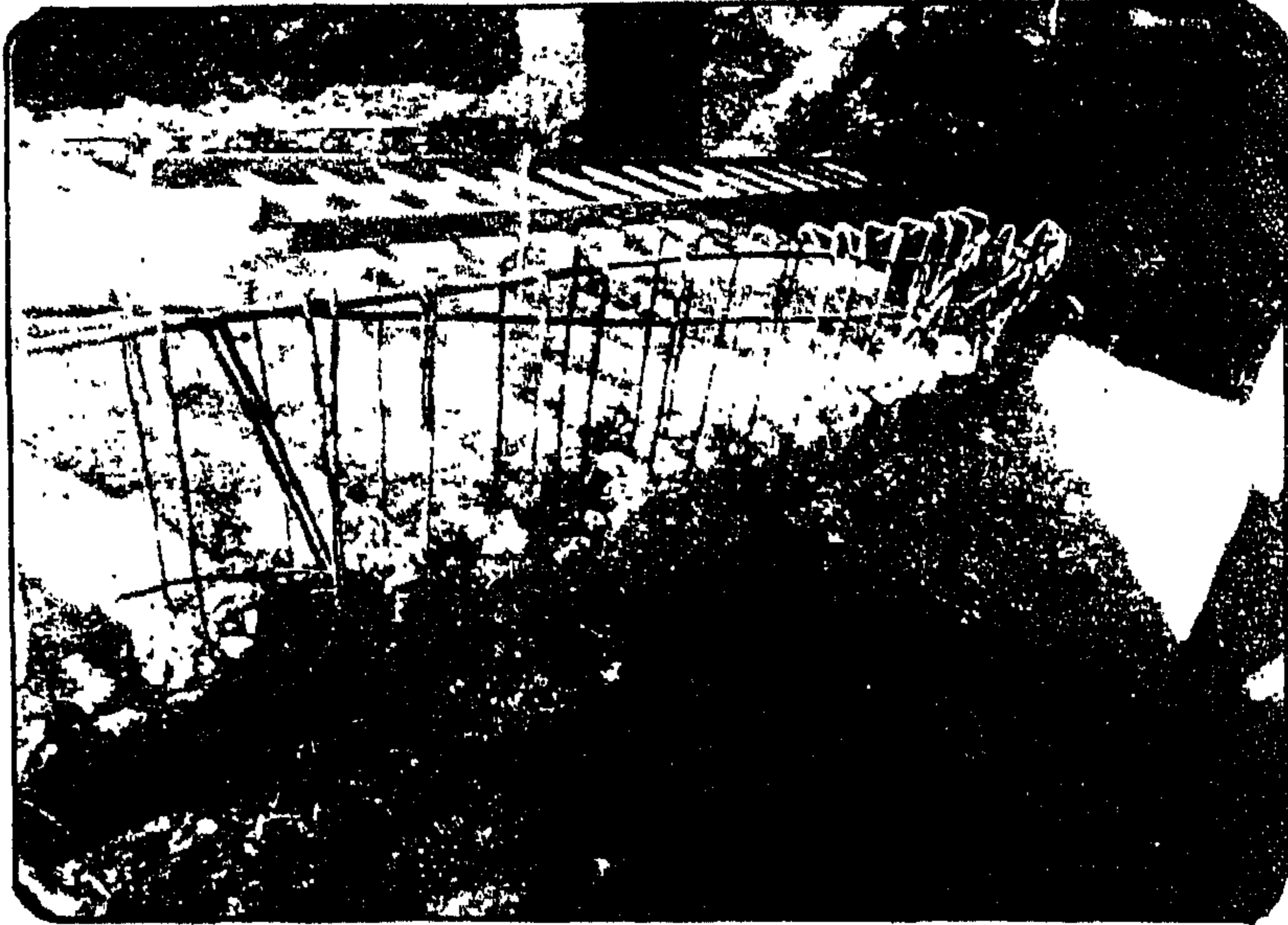
شكل (٤ / ٦١) التعشيش نتيجة الدمك السيئ للبلاطات والكمرات



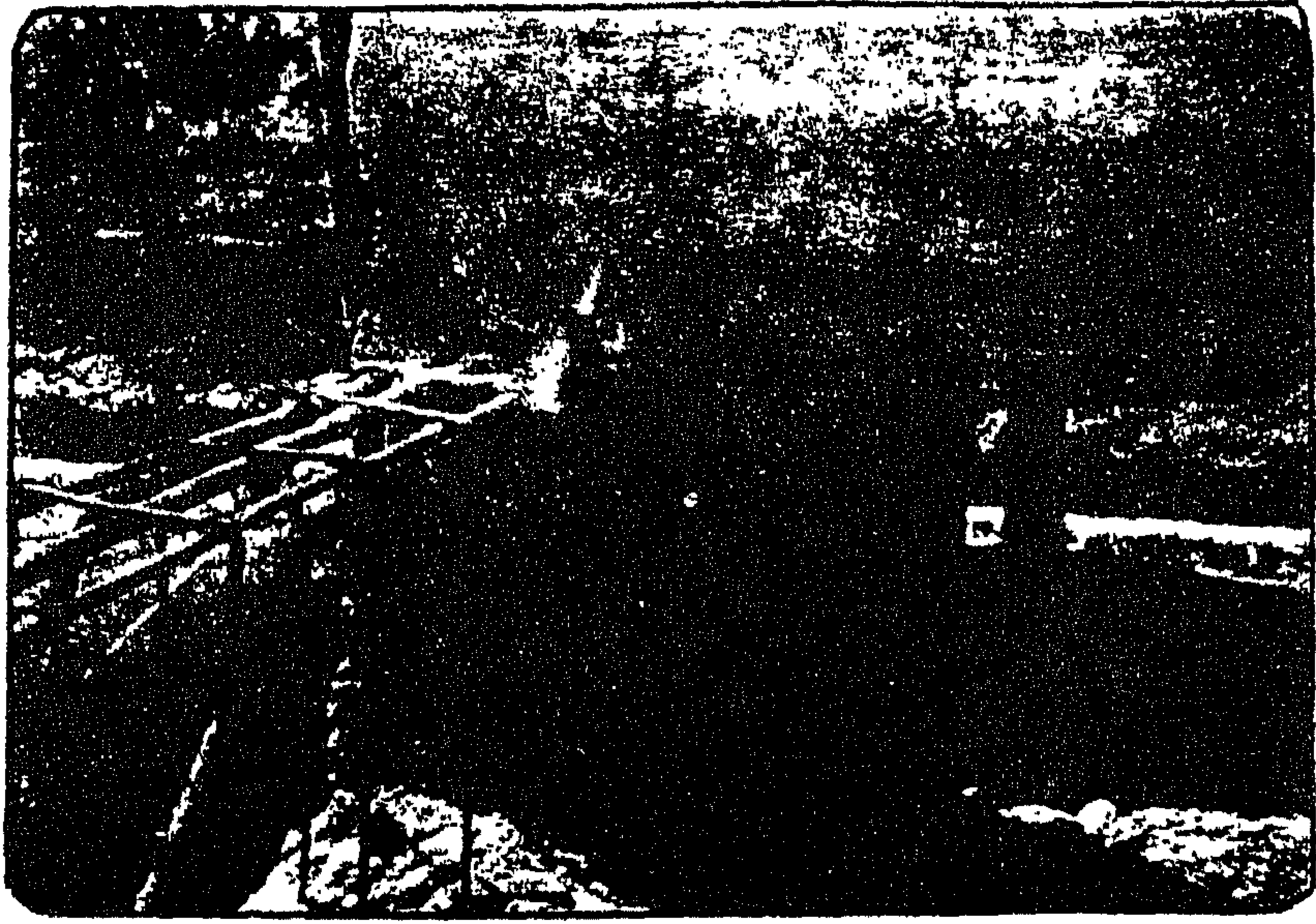
شكل (٤ / ٦٢) التعشيش نتيجة الدمك السيئ للأعمدة



شكل (٤ / ١٣) عيوب التنفيذ تظهر في اتصال العמוד بالميدة (تحت سطح الأرض)



شكل (٤ / ٦٤) سوء التنفيذ في أحد السلاسل (اللون الفاتح للخرسانة
يدل على قلة محتوى الأسمنت



شكل (٤ / ٦٥) وجود ألواح الخشب بين الكمرة والعامود
مما سيؤدي إلى حدوث انفصال بينهما

ويعجب عدم الصب على شدة ساخنة أو حديد ساخن ، ويجب أن تكون الشدة مرتكزة ارتكازا سليما لا يسمح بهبوط أو حركة بسيطة أثناء الصب ، لأن ذلك يؤدي إلى تشريح الخرسانة اللدنة .

وفي الخرسانة الكتلية يمكن استعمال الخرسانة الباردة بالإضافة إلى عوامل تقليل الماء والأسمنت في الخلطة إلى أقل حد عملي ممكن ، هذا سيؤدي إلى تقليل فروق الحرارة المسببة للتشروخ ، وفي الأجواء الحارة الخرسانة الباردة تسهل العمل عن طريق تقليل الفاقد في اللدونة وزيادة القابلية للضغط وزيادة القابلية للدمك ، ويمكن الحصول على خرسانة باردة باستبدال بعض أو كل كمية الماء في الخلطة بقطع من الثلج .

والنهو الجيد للأسطح المستوية له أكبر الأثر في التخلص من أغلب أنواع تشروخ الخرسانة اللدنة (٣٩) ، ويجب استعمال خرسانة ذات لدونة منخفضة - هبوط المخروط لا يزيد عن ٧ سم - إلا في الأجواء الحارة جدا ، كما يجب عدم بداية النهو في وجود مياه على السطح ، كما يجب عدم المبالغة في أعمال التسوية والدمك باستخدام القدة الخشبية حتى لا يؤدي ذلك إلى زيادة الإدماء ، وأي تشكيل أو حفر في الخرسانة يجب عمله

بكامل العمق المطلوب ، حتى لا نضطر إلى زيادة عمقه بعد تصلد الخرسانة ، كما يجب عند استعمال شدات معدنية للحصول على خرسانة ظاهرة (Fair Face) أخذ الاحتياطات الكافية لمنع حدوث الشروخ السرطانية من تجنب الخلطات ذات المحتوى الزائد من الماء والأسمنت ، وعدم فك الشدة قبل ثلاثة أيام .

٢ / ٨ / ٥ - المعالجة والحماية :

نقص المعالجة يزيد من درجة تشريح المنشأ الخرساني خاصة البلاطات ، فإن المعالجة في وقت مبكر تتيح الفرصة لزيادة الانكماش نتيجة الجفاف في وقت ما زالت الخرسانة فيه ضعيفة المقاومة ، وعدم استكمال عملية الإمالة نتيجة الجفاف المصاحب لتوقف رش الخرسانة لن يؤدي فقط إلى نقص المقاومة على المدى الطويل ، ولكنه سيؤدي كذلك إلى نقص تحمل المنشأ مع الزمن ، ويجب عدم تعريض المنشآت الخرسانية لدورات بلل وجفاف متتالية ؛ لأن ذلك يساعد على التشريح ، ولكن يجب أن يظل العضو الخرساني في حالة بلل دائم لمدة أسبوعين على الأقل ، باستعمال طرق المعالجة المذكورة في الباب السابع (قسم ١ / ٩ / ٢ / ٣) ، ويجب ألا يتأخر بدء معالجة الأسطح المستوية عن ٤ - ٦ ساعات بعد نهو الأعمال - حسب درجة حرارة الجو .

ويجب حماية الخرسانة من درجات الحرارة المنخفضة ومن الظروف شديدة الجفاف والرياح حتى تصل إلى نضج ومقاومة كافية ، لكي يمكن منع تكون الشروخ ، وإذا أمكن الوصول إلى معدلات معقولة لجفاف الخرسانة أو انخفاض درجة حرارتها ، فإن الزحف سيكون له فرصة أفضل في تقليل احتمالات التشريح ، إذا كانت الحماية والمعالجة مستمرة لا تنقطع .

٢ / ٨ / ٦ - عيوب رص الحديد :

إن عدم ترك مسافة كافية بين صلب التسليح والشدة الخشبية للحصول على الغطاء الخرساني المطلوب ، سيؤدي مع وجود الرطوبة إلى صدأ الحديد ، كما أن عدم وضع حديد مقاومة الانكماش أو عدم التأكد من منع تحركه أثناء الصب ، سيؤدي إلى حدوث شروخ انكماش ، وتُعنى كل المواصفات العالمية الحديثة وكذلك الكود المصري الجديد لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية المسلحة بوضع حديد تسليح في أماكن خاصة لتقليل احتمالات التشريح ، وقد وضع الكود المصري الجديد شروطاً للعوامل التي تؤثر في

عرض الشروخ وهى : الغطاء الخرسانى ، وتوزيع ونوع وقطر وقيمة الإجهادات فى حديد التسليح ، بما يتضمن استيفاء حالة حد الشريح (١٨) .

وغنى عن القول أن سقوط الحديد العلوى المقاوم لإجهادات الشد العلوية فى البلاطات - الشوك والحديد العلوى عند الكمرات - أثناء الضرب سيؤدى إلى شروخ شد كبيرة ؛ لأن مقاومة الخرسانة للشد ضعيفة . شكلا (٤ / ٦٦) .



شكل (٤ / ٦٦) شروخ بين البلاطة والكمرة - غالبا

نتيجة عدم وجود حديد علوى عند الكمرة

٢ / ٨ / ٧ - عيوب الشدة :

إن عدم العناية بالشدة الخشبية من حديث الأفقية والرأسية ، وعدم تقوية الشدة ، يؤدي إلى عواقب وخيمة ، وميل العמוד المبين فى شكل (٤ / ٦٧) يؤدي إلى زيادة العزوم فى العמוד ، زيادة قد تسبب انهياره .



شكل (٤ / ٦٧) ميل شديد فى العامود نتيجة عيوب الشدة

٢ / ٨ / ٨ - عيوب فى فواصل الصب والوصلات :

مما يؤدي إلى التشريح أيضا عمل وصلات الصب عند أماكن بها تركيز عال من الإجهادات ، فتصبح هذه الأماكن مستويات ضعيفة عرضة للسروخ ، وعدم عمل فواصل تمتد فى الأساسات الشريطية الطويلة - على أساس أنها مدفونة تحت الأرض - ولكن بعد صبها ستعرض لإجهادات عالية إذا تعرضت للشمس فى الصيف قبل ردم الأساسات ، وستظهر سروخ الانكماش نتيجة الجفاف وسروخ حرارية نتيجة فرق درجة الحرارة أسفل الأساسات عنها عند السطح أثناء التنفيذ وقبل ردم الأساسات .

وبالنسبة لوصلات الصب فإن الوضع الأمثل - كما سبق أن ذكرنا فى فصل (٢ / ٤ / ١) - هو أن يقترح مهندس البناء مكانها ويعرضها على المهندس المصمم للموافقة عليها ، إلا أن ذلك نادرا ما يحدث وإغفال فواصل الصب تماما عند صب البلاطات الكبيرة سيؤدي إلى تشريحها نتيجة جفافها والقيود على حركتها فى نفس الوقت .

أما بالنسبة للمنشآت التي يستحسن عدم عمل فواصل صب بها - كاللبشة أسفل المياه الجوفية أو الخزانات - فيجب أن يقوم المصمم بعمل حسابات الإجهادات نتيجة الانكماش ، وأخذها في الاعتبار عند التصميم مع استعمال خلطة بها أقل كمية مياه ممكنة ، والمبادرة بالمعالجة ورش الخرسانة بعد الصب بساعات قليلة .

وعدم العناية بنظافة وصلات التمدد والانكماش يؤدي إلى أن تفقد هذه الوصلات وظيفتها لأن الحركة تصبح صعبة عندها ، كما أن سوء تنفيذ هذه الوصلات سيجعلها أماكن تسرب للرطوبة والمياه الجوفية ، وستصبح مصدرا دائما للإزعاج وعاملا مساعدا على التشريح .

ثالثا : تساقط الخرسانة

يتساقط الغطاء الخرساني لحديد التسليح لسبب أو أكثر من الأسباب الآتية :

- ١ - عيوب فى التفاصيل الإنشائية .
- ٢ - الظروف الجوية القاسية .
- ٣ - تعرضها لصدمات الموجات الصوتية .
- ٤ - البيئة المحيطة بالخرسانة بها مواد ضارة ،
- ٥ - حدوث انتفاخ نتيجة امتصاص الرطوبة ، وهذا الانتفاخ مقيد من الحركة .
- ٦ - حدوث انتفاخ نتيجة تفاعل القلويات مع السيليكا النشطة بالركام ، أو نتيجة وجود طينة أو طفلة متفخة فى الركام .

١ - عيوب فى التفاصيل الإنشائية :

إذا حدثت إجهادات شد عمودية على سطح العضو الخرساني فسوف تؤدي هذه الإجهادات إلى حدوث انفصال للخرسانة وتساقطها ، وأحد الأمثلة على ذلك الأعضاء غير المستقيمة التي بها قوى شد فى الضلعين المتقابلين ، هذه القوى تقاوم بواسطة حديد التسليح الذي ينقل إجهادات الشد للخرسانة ، حيث يمنع عمق الغطاء الخرساني الحديد من أن يستقيم ، وذلك إذا تم عمل التفصيلة بحيث يشكل صلب التسليح على شكل مقص أو يتم زيادة الكانات فى هذه المنطقة زيادة كبيرة - انظر شكل (٤ / ٥٣ - ج) - أما إذا كانت التفصيلة الإنشائية كما يظهر فى الشكل حيث يتم ثنى الأسياخ بحيث تأخذ شكل القطاع الخرساني بدون عمل مقص ، فإن السيخ سيحاول أن يأخذ شكلاً مستقيماً بسبب إجهادات الشد به مما يؤدي إلى نظر الغطاء الخرساني وتساقطه .

ومثال آخر على العيوب فى التفاصيل الإنشائية هى الكمرات ثقيلة التسليح والتي يوضع بها عدد كبير من الأسياخ فى صف واحد مما لا يتيح ترك مسافات كافية بين الأسياخ لمرور الركام والخرسانة ، وهذا يؤدي إلى حدوث تعشيش ، وإذا استعمل ركام مقاسه

أصغر فسيحدث سطح انفصال عند أسفل الأسياخ وقد يتساقط الغطاء الخرساني .

٢ - الظروف الجوية القاسية :

إذا تعرضت الخرسانة لأمطار ودرجات حرارة تحت الصفر ، فإن ذلك سيؤدي إلى تشرخها ثم تساقطها ، حيث تمتص الخرسانة الرطوبة أولاً ثم عند تعرضها للبرودة الشديدة ستتجمد المياه بداخلها مع زيادة في الحجم ، والضغط الهيدروليكي الناشئ عن ذلك سيسبب تشرخ السطح ، وعند الذوبان سيحدث تساقط للخرسانة - انظر قسم (٢ / ٣ / ١) من الجزء (ثانيا) .

٣ - تعرضها لصدمات الموجات الصوتية :

تساقط الخرسانة إذا تعرضت لصدمات الأمواج ، وذلك لأن معدلات انتقال الأمواج خلال الركाम والمونة والأسياخ مختلفة ، والخوازيق المصنوعة من الخرسانة الجاهزة من أكثر الأعضاء الخرسانية عرضة لهذا ؛ لأنها عادة ما تكون ذات قطاعات ثقيلة فتتعرض لصدمات قوية أثناء دقها ، ودعامات الكباري وبلاطات الأرصفة مثال آخر ، فإذا لم تتم حمايتها جيداً من صدمات المراكب فيمكن أن يحدث بها تدهور وخاصة في أماكن تركيز الإجهادات مثل الأركان والفتحات ، وأساسات الماكينات مثال ثالث على تساقط الخرسانة نتيجة الموجات الصوتية والاهتزازات (٤٠) .

وقد أظهرت الخبرة المكتسبة من مناطق الزلازل وتأثير القنابل أثناء الحرب العالمية الثانية ، أن القطاعات الخرسانية المسلحة تسليحاً ثقيلًا كانت أكثر مقاومة لصدمات الموجات الصوتية ، كما أن استخدام المصدات المطاطية على بلاطات ودعامات أرصفة الموانئ يحميها من مثل هذه الصدمات ، كما أظهرت التجارب أن استخدام الركام المدب أفضل من الركام المستدير في مثل هذه الحالات ، أي أن كسر الحجر أفضل من الزلط .

٤ - البيئة المحيطة بالخرسانة بها مواد ضارة :

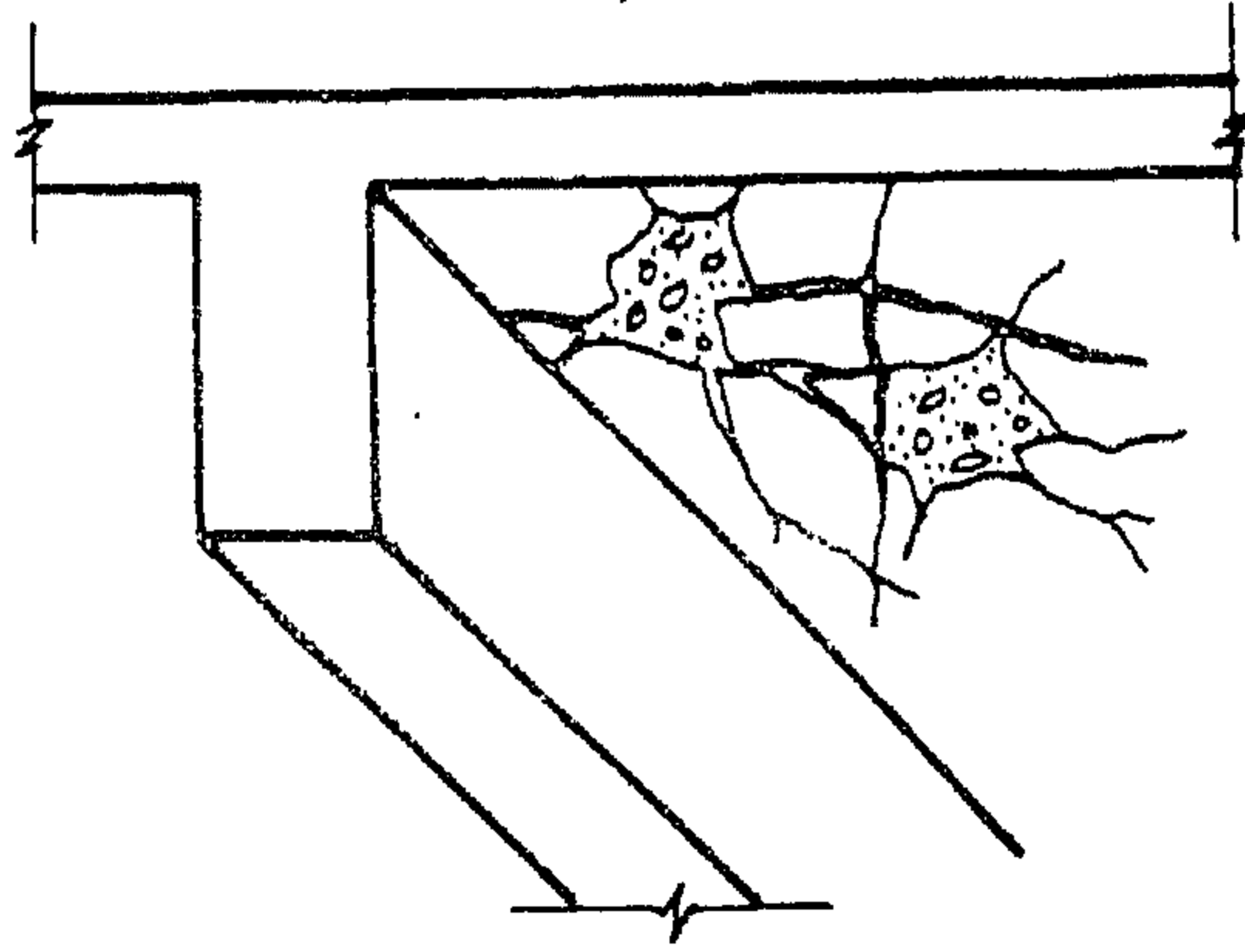
والمواد الضارة بالخرسانة هي الأحماض بكافة أنواعها ، حيث إن الخرسانة قاعدية ، ومركبات لأمونيوم - باستثناء كربونات الأمونيوم - والكبريتات والأملاح وخاصة كلوريد الصوديوم الذي يؤدي إلى صدأ الحديد وتساقط الخرسانة - انظر قسم (٢ / ٢) من الجزء (ثانيا) .

٥ - حدوث انتفاخ نتيجة الرطوبة :

والخرسانة تتمدد إذا امتصت الرطوبة لأنها مسامية بدرجة ما ، ولو كان هذا الانتفاخ مقيدا من الحركة فستحدث شروخ يتبعها تساقط الخرسانة الأكتاف الخرسانية للكبارى والحوائط الخرسانية الممنوعة من الحركة الرأسية وغيرها .

٦ - حدوث انتفاخ نتيجة تفاعل القلويات مع السيليكا النشطة بالركام أو نتيجة انتفاش الطين أو الطفلة الموجودة بالركام :

وفى الحالة الأولى تتكون مادة هلامية (Silica gel) تنتفخ وتؤدي إلى تساقط الخرسانة - انظر قسم (٢ / ٢ / ٥) - أما فى الحالة الثانية فلو كان الطين أو الطفلة من النوع المنتفش فعند وصول الرطوبة إليه ينتفش مسببا تشريح الخرسانة وتساقطها - انظر شكل (٦٨ / ٤) .



شكل (٦٨ / ٤) تشريح الخرسانة وتساقطها من بطنية بلاطة كوبرى بسبب وجود الطفلة المنتفشة وسط الركام

رابعاً : تفتت الخرسانة السطحية

يتدهور سطح الأعضاء الخرسانية ، ويحدث له تفتت ، وتحدث به فجوات نتيجة لعدة عوامل ، منها :

١ - تأثير هجوم الكيماويات .

٢ - تأثير المواد المعيبة .

٣ - تأثير المياه السريعة .

١ - تأثير هجوم الكيماويات :

الأحماض جميعها مضرّة بالخرسانة ، وتتفاعل مع المونة مما يقلل التماسك بين حبيبات الركام ويسبب تفتتاً للخرسانة السطحية ، وكذلك الأملاح وخاصة كلوريد الصوديوم ، وبلاطات الأرضيات التي تأثرت بأملاح إذابة الجليد تصبح ذات سطح خشن ذي نتوءات نتيجة تآكل الخرسانة ، وتساقطها نتيجة الانتفاخ المصاحب للتفاعلات التي تحدث .

٢ - تأثير المواد المعيبة :

ضعف الخواص الميكانيكية للخرسانة - وخاصة مقاومة الضغط - يمكن أن يستخدم مقياساً على قوة التماسك بين الركام والمونة ، وكلما ضعفت مقاومة الضغط كلما قل التماسك ، وعندئذ يحدث تفكك للخرسانة السطحية تحت تأثير الأمطار أو الرياح ، ووجود أى مواد عالقة على الركام مثل الطين والطفلة والجبس وغيرها تقلل من التماسك إلى حد كبير وتؤدي إلى تفكك الخرسانة .

٣ - تأثير المياه السريعة :

والمياه السريعة تؤثر على سطح الخرسانة بطريقتين ، تسبب حدوث فجوات به (cavitation) وتسبب حدوث تآكل - وهو ما سيناقش في قسم التآكل السطحي - وسبب حدوث فجوات بسطح الخرسانة المعرضة لتيارات مياه سريعة غير معلوم بدقة رغم الأبحاث الكثيرة التي أجريت عليه (٤١) ، وهناك تفسير بسيط - وإن كان غير كامل -

لحدوث الفجوات وهو أن التيارات السريعة - أكثر من ١٥ م / ثانية - إذا صادفت عدم انتظام أو أجزاء غاطسة في السطح الخرساني فستحدث دوامات ، هذه الدوامات هي التي تسبب تآكل سطح الخرسانة ، حدوث فجوات به .

ومع التيارات الأسرع من ذلك فستحدث دوامات حتى لو كان سطح الخرسانة مستقيماً وليس به أجزاء بارزة أو غاطسة نتيجة لخشونة السطح - إذا كانت الخرسانة - غير مغطاة بمواد عازلة - وستحدث فجوات نتيجة هذه الدوامات ، كما أثبتت الأبحاث أنه كلما كان عمق المياه فوق السطح الخرساني أقل كلما كان تأثيرها على حدوث الفجوات أكبر (٤١) ، والأماكن الأكثر عرضة لحدوث الفجوات بالأسطح الخرسانية هي مجارى المياه السريعة مثل قنوات تصريف المياه الزائدة من السدود والأنفاق وأنابيب تفريغ الخزانات وأحواض تبريد الطاقة (energy dissipation basins) ، ويمكن تمييز حدوث الفجوات عن حدوث التآكل السطحي بسهولة ، حيث إن سطح الخرسانة في الحالة الأولى يكون ذا نتوءات وفجوات أعمق من السطح في الحالة الثانية الذى يكون أقل خشونة .

خامسا : التآكل السطحي (البرى)

ويحدث التآكل السطحي لعدة أسباب الآتية :

- ١ - الاحتكاك مع عجلات المركبات .
- ٢ - الرياح المحملة بالرمال أو الحبوب المندفعة - الصوامع .
- ٣ - المياه السريعة وخاصة المحتوية على حبيبات .
- ٤ - الدخان وخاصة المحتوى على الرماد .

والتآكل السطحي (البرى) ما زال موضوع قيد البحث ولا توجد معلومات كثيرة بشأنه وإن كان قد ثبت أن جودة الخرسانة - مقاسة بمقاومتها للضغط - هى أهم العوامل فى زيادة مقاومتها للبرى^(٤٢) ، ومن الواضح أن طريقة نهو سطح الخرسانة مهمة كذلك ، ولكن لا توجد معلومات كافية عن التأثير السببي المختلف لنهو السطح على مقاومة البرى ، غير أنه كلما كان السطح ناعما كلما قل تأثير التيارات الهوائية والمائية عليه ، ومن المفروض أن الركाम الكبير هو الذى يدعم مقاومة الخرسانة للبرى ، ولكن تغير كمية أو حجم الركام السيليسى ليس له تأثير كبير على مقاومة البرى ، ولكن استخدام أنواع أخرى من الركام مؤثر ، فمثلا استخدام كسر الأحجار الصلدة جدا يزيد مقاومة البرى كثيرا ، كما أن استخدام الركام الضعيف يقلل من مقاومة البرى إلى حد كبير .

١ - الاحتكاك مع عجلات المركبات :

يحدث البرى لبلاطات الطرق وأرضيات المصانع نتيجة الاحتكاك مع العجلات المطاطية للمركبات ، وقد تزايدت مشكلة البرى حديثا نظرا للزيادة الكبيرة فى أحمال عربات النقل الثقيل ، ومن المعلوم أن قوة الاحتكاك عبارة عن الحمل الرأسى مضروبا فى معامل الاحتكاك ، ومعامل الاحتكاك يزداد عند وجود رمال على الطريق أو خشونة السطح الخرسانى أى أن حدوث تآكل نتيجة البرى يزيد معامل الاحتكاك فيزيد التآكل ، وهكذا .

وحتى تدخل المصانع أصبحت العربات ذات الأحمال التى تصل إلى ٢٠ طنا

للمحور شيئاً معتاداً ، كما راد استعمال أوناش الشوكة كثيراً ، ومع عدم تنظيف أرضية المصنع تؤدي الأتربة والمخلفات المتراكمة على الأرضية إلى زيادة الاحتكاك وزيادة احتمالات حدوث التآكل نتيجة البرى .

٢ - الرياح المحملة بالرمال والحبوب المندفعة :

والحالة الأولى تظهر فى الصحارى حيث تحمل الرياح السريعة الرمال وتحدث احتكاكاً على أسطح الخرسانة الخارجية غير المغطاة بالبياض مما يسبب تآكلها ، أما الحالة الثانية فهى فى صوامع الغلال ومع أنواع خاصة من الحبوب ، حيث يؤدي اندفاع الحبوب بسرعة عند تفريغ الصومعة إلى حدوث احتكاك مؤثر مع الأسطح الخرسانية الداخلية .

٣ - المياه السريعة :

والمياه السريعة - وخاصة المحملة بالحبيبات - تؤدي إلى تآكل أسطح الخرسانات الضعيفة ، أما الخرسانة عالية الجودة فمقاومتها للبرى فى هذه الحالة عالية ، وحدث أو عدم حدوث تدهور مؤثر بسطح الخرسانة المعرضة لمياه سريعة يعتمد على عدد من العوامل منها :

١ - جودة الخرسانة - مقاومتها للضغط - ومحتوى الأسمنت ومقاومة الركام للبرى .

٢ - سرعة تيار المياه .

٣ - نوعية الحبيبات بالمياه وخصائص البرى الخاصة بها .

٤ - خصائص التيار من حيث كونه مستمراً أو متقطعاً ، ومقدار تغير كمية الحبيبات ساعة بعد ساعة ويوما بعد يوم .

ولا توجد معلومات منشورة تحدد بطريقة عملية تأثير كل من العوامل السابقة وعلاقتها ببعضها البعض ، وعلى المهندس أن يستخدم حكمة الهندسى ليقرر ما إذا كانت هناك احتياطات لازمة مطلوبة فى حالة من الحالات وما هى هذه الاحتياطات .

وفى حالة المنشآت البحرية المواجهة للأمواج وخاصة تلك التى تعلو سطحها - مثل بلاطات الأرصفة والشرفات الخرسانية فوق البحر والمرسى الممتد فوق الماء - يسبب فعل الأمواج تآكلاً شديداً للأسطح الجانبية والسفلية لهذه المنشآت كما لو كانت قد تعرضت

لماكينة رمال متدفقة (sand blast) عملاقة ، ويكون التآكل اشد في الاركان ،
ومهما كانت قوة الخرسانة فهي معرضة للتآكل بفعل الأمواج التي تظل تضربها يوميا سنة
بعد أخرى لملايين الدورات حتى تنهالك وتتآكل .

٤ - الدخان المحتوى على رماد :

تتعرض المداخلن الخرسانية للبرى بفعل الدخان المحتوى على كمية كبيرة من الرماد
خاصة وأن ارتفاع درجة حرارة سطح الخرسانة إلى ما فوق 300°C م يضعفها ولا سبيل
إلى تفادى التآكل في هذه الحالة إلا بتبطين المدخنة من الداخل بالطوب الحرارى .

سادسا : انتفاخ الخرسانة

وتنتفخ الخرسانة لأحد أسباب خمس :

١ - تجمد المياه الموجودة فى الفجوات الداخلية.

٢ - تفاعلات كيميائية تؤدي إلى تكون مواد منتفخة .

٣ - صدأ الحديد .

٤ - انتفاش الطين أو الطفلة الموجودة بالركام .

٥ - التمدد نتيجة لامتصاص الرطوبة .

وقد سبق الحديث عن الأسباب الأربعة الأولى ، فانتفاخ الخرسانة عندما تنخفض درجة الحرارة إلى ما دون الصفر المئوى يكون بسبب تجمد المياه الموجودة فى الفجوات الداخلية - انظر الجزء (ثانياً) قسم (٢ / ٣ / ١) - وانتفاخها نتيجة التفاعلات الكيميائية يحدث عند هجوم الكبريتات - قسم (٢ / ٢ / ٣) - أو تفاعل القلويات مع الركام - قسم (٢ / ٢ / ٥) - وتكون الصدأ يؤدي إلى انتفاخ الخرسانة السطحية كذلك ، وتساقطها - قسم (٢ / ٢ / ٦) - وانتفاخها نتيجة وجود طينة تنفث عندما تصلها الرطوبة سبق الحديث عنه فى قسم تساقط الخرسانة .

٥ - التمدد نتيجة لامتصاص الرطوبة :

كما سبق الإشارة فى الباب الثالث ، فالخرسانة لها مسامية تزيد أو تقل حسب جودة الخرسانة وجودة صناعتها ، والغريب أنه عادة ما يلاحظ أن الأجزاء المختلفة من المنشأ الواحد المصنوع من نفس المواد عن طريق نفس المكاوول الذى اتبع نفس المواصفات قد أصاب بعضها تدهوراً شديداً والبعض الآخر سليم لم يصبه أى ضرر ، وعادة ما يكون السبب فى ذلك هو اختلاف كمية المياه التى امتصتها الخرسانة فى هذه الأجزاء المختلفة نتيجة لتغير الظروف المحيطة بالعضو - ظروف الحرارة والرطوبة - وكذلك لتغير مصنعية الخرسانة - تغير مساميتها .

وعندما تمتص الخرسانة الماء فإنها تنتفخ وتمدد ، وفي مرجع (٤٣) رصد لحالة دعامة اسطوانية من الخرسانة بقطر ٤ م زاد قطرها ١,٥ سم ودعامة أخرى قطرها متران ومصبوبة داخل اسطوانة من الصلب بسمك ٦ مم تقطعت نتيجة تمدد الخرسانة ، وتمدد الخرسانة يتراوح بين واحد في الألف للخرسانة الجيدة وخمسة في الألف للخرسانة الرديئة ، حيث يعتمد مقدار التمدد على : العمر ، والنفاذية ، ونوع الركام ومقدار الرطوبة الأصلية ، وإذا لم يكن انتفاخ الخرسانة وتمدها حراً في الحدوث فسوف تحدث الشروخ وتساقط الخرسانة.^{٤٤}

المراجع

1 - Lerch, W. :

" Plastic Shrinkage " J. of American Concrete Institute Proc. Vol. 53, No. 8., Feb. 1957, PP 797 - 802.

2 - ACI Committe 305 :

" Hot weather Concreting " American Concrete Institute, ACI, R - 77, August 1977, 16 pp.

3 - Commissie Voor Vitvoering Van Reserach (C.U.R.) :

" Cracking in young Concrete " Aug; 1977, 48 PP, In Dutch with English Summary, Available as C. and C.A. Translation No. T. 173.

4 - Manns, W. and Zeus, K. :

" The Effect of Admixtures in the Development of So - called Plastic Shrikage Cracks " Beton, Feb . 1979, 63 PP - 66. March 1979 .

5 - Daking, F.H., Cady, P.D. and Carrier, R.E. :

" Cracking of Fresh Concrete as Related to Reinforcement " ACI J. Proc. Vol. 72, No. 8, Aug. 1975, PP 421 - 428.

6 - ACI Committe 309 :

" Identification and Control of Consolidation - Related Surface Defects in Formed Concrete" American Concrete Institute Committe Report No. 309-2R - 82, 1982.

7 - Edwarde, A.G. :

"Scottish Aggregaters. Their Suitabiity for Concrete with Regards to Rock Constituent " Garston. Building Research Station 1970, Current Paper cp 28/ 70.

8 - Taylor, W.H. :

"Concrete Technology and Practice" Sydney, Angus and Robertson, 1969.

9 - Bennett, E. W. and Loat, D.R. :

"Shrinkage and Creep of Concrete as Affected by the Fineness of Portland Cement" Magazine of Concrete Research, Vol.22, No. 71, June 1970, PP 69 - 78.

10 - Pickett, G.O. :

"Effect of Aggregate on Shrinkage of Concrete and a Hypothesis Concerning Shrinkage" J. of ACI, Proc, Vol. 27, No. 5, Jan. 1956, PP 581 - 590.

11 - Dept. of the Environment, Transport and Road Research Laboratory :

"A Guide to the Structural Design of Pavement for New Roads" Third ed, London, HMSO, 1970, 36 PP, Road Note 29.

12 - Deacon, R.C. :

"Concrete Ground Floors, Their Design, Construction and Finish" Second ed. ,Slough. Crowlthorne Transport and Road Research Lab., 1969, 23 PP, Lab. Repor 23.

13 - Concrete Society working party :

"Non - Structural Cracks in Concrete" Concrete Society Tech. Report No, 22, 1982, 38 PP.

14 - Roberts, J.I. :

"The Cracking of Concrete", Slough, Cement and Concrete Association, May 1973, 19 PP, Ref. 42. 480.

15 - Commission 32 - RCA :

"Resistance of Concrete to Chemical Attack" Matériaux et constructions, vol. 14, No. 8. 1981, PP 130 - 137.

16 - Perkins, P.H. :

"Repair, Protection and Waterproofing of Concrete Structures" Elsevier Applied Science Publishers, 1986.

17 - ACI Committee 515 :

"A Guide to the Use of Waterproofing, Dampproofing, Protective and Decorative Barrier Systems for Concrete " Report No. ACI 515, R.

79, Concrete Int., Nov. 1979, PP 41 - 81.

١٨ - الكود المصرى لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية المسلحة - وزارة التعمير والإسكان - مركز بحوث الإسكان والبناء والتخطيط العمرانى - القاهرة - ١٩٨٩.

19 - ACI Committe 201 :

"Guide to Durable Concrete" ACI 201.2 R- 77, American concrete Institute, Detroit 1977 (Reaffirmed 1982).

20 - Roberts, M. H. :

"Carbonation of Concrete Made with Dense Natural Aggregates" Building Research Establishment (BRE), Garston, London, April 1981, BRE information paper 6/81.

21 - Building Research Establishment :

"The Durability of Steel in Concrete, part 2 "London, HMSO, August 1982, 8 PP, BRE Digest 264.

22 - ACI Committe 222 :

"Corrosion of Metals in Concrete" Report by committe 222, 1985, ACI, Detroit, Michigan, U.S.A.

23 - Beeby, A. W. :

"Cracking, Cover and Corrosion of Reinforcement" Concrete Int. : Design and Construction. vol. 5, No. 2, Feb 1983, PP 35 - 40 .

24 - Bamforth, P. B. :

"Insitu Measurements of the Effects of Partial Portland Cement Replacement Using Either Flyash or Mass Concrete" Proc, Institution of Civil Engs. Part 2. Vol. 69, Sept. 1980, PP 777 - 800.

25 - Franklin, R.E. :

"The Effect of Weather Condition on Early Strains in Concrete Slabs" Crowthorne, Transport and Road Research Lab., 1969, PP 23. Lab, Report 266.

26 - Price, W.H. :

"Conctrol of Craking During Construction " Concete International

- Design and Construction , Vol. 4, No. 1, Jan. 1982, PP 40 - 43.
- 27 - Mattock, A.H. and Timothy, C.C. :**
"Design and Behaviour of Dapped - End Beams" J. Prestressed Concrete Institute, Vol. 24, No. 6, Nov. - Dec. 1979, PP 28 - 45.
- 28 - Charles, H.R. :**
"Designing for Axial Compression Volume Changes" ACI, sp - 27, American Concrete Institute, Detroit, 1971, PP 121 - 140.
- 29 - Kaminetzky, D. :**
"Failures During and After Construction" Concrete Construction, Vol. 26, No. 8, Aug. 1981, PP 641 - 649.
- 30 - Mast, R.E. :**
"Roof Collapse at Antioch High School" J. Prestressed Conc.Institute, Vol. 26, No. 3, May - June 1981, PP 209 - 217.
- 31 - Priestly, M.J. :**
"Design of Concrete Bridges for Temperature Gradients" ACI, J., Proc. Vol. 75, No. 5, May 1978, PP 209 - 217.
- 32 - British Standards Institution BS 5337 :**
"Code of Practice for the Structural Use of Concrete for Retaining Aqueous Liquids" 1976, London, 16 PP.
- 33 - Kirkbride, T.W. :**
"Burner Curing" Precast Concrete (London) Vol. 2, No. 11. Nov. 1971, PP 644 - 640.
- 34 - Holmberg, A. :**
"Crack Width Prediction and Minimum Reinforcement for Crack Control" Dansk Selskab for Byaningsstatik (Copenhagen) Vol. 44, No 2, June 1973, PP 41 - 50.
- 35 - Illston, J.M. and Stevens R.F. :**
"Long - term Cracking in Reinforced Concrete Beams" Proc. Inst. of Civil Engs. (London) part 2, Vol. 53, Dec. 1972. PP 445, 459.

- 36 - Skempton, A.W. and Macdonald, D.H. :
"Allowable Settlement of Buildings" Proc., Institute of Civil Engineers, Part 3, Vol. 5 1956, PP 727 - 768.
- 37 - Polshin D.E. and Tokar, R.A. :
"Maximum Allowable Nonuniform Settlement of Structures" Proc., 4th Int. Conference on Soil Mech. and Foundation Eng. Vol. 1, London 1957, PP402 - 406.
- 38 - Bjerrum, L. :
"Allowable Settlement of Structures" Proc. European Conf. on Soil Mech. and Foundation Eng., Weisbaden, Germany. Vol. 3, 1963, PP 135 - 137.
- 39 - ACI Committee 302 :
"Recommended Practice for Concrete Floor and Slab Construction " ACI 302 - 69, American Concrete Institute, 1969, 34 PP.
- 40 - Champion, A. :
"Failure and Repair of Concrete Structures" John Wiley & Sons., New York, 1961.
- 41 - Kenn, M.J. :
"Factors Influencing the Erosion of Concrete by Cavitation", CIRIA, Tech. Note (1), London, July 1968, PP 15.
- 42 - ACI Committee 210 :
"Erosion Resistance of Concrete in Hydraulic Structures" ACI 210 R - 55 (Reaffirmed 79) American Concrete Institute, Detroit, 10 PP.
- 43 - Schaefele, J.F. :
"Erosion and Corrosion in Marine Structures" Proc., first Conf. on Coastal Eng., Council on Wave Research, Univ. of California.

الباب الخامس

تشخيص أسباب التصدع والحكم على سلامة المنشآت

أ. د. شريف أبو المجد ، أ. م. د. شادية الإيبارى

مقدمة :

إن الكشف عن العيوب فى مرحلة مبكرة يمكن أن يحمى الأرواح ويوفر الأموال ، ولكن ذلك يتطلب نظاماً للفحص الدورى للمنشآت ، كما أن الكشف عن كل العيوب فى حالة ظهور بعض التصدع عملية هامة لتشخيص الحالة وتحديد مدى التدهور والحاجة إلى علاج سريع .

ويجب أن يتم الكشف عن العيوب فى المنشآت الخرسانية المسلحة بواسطة مهندس مدنى - والأفضل إنشائي - له خبرة كافية فى هذا المجال ، ويقوم المهندس بعمل فحص سريع لمحاولة التعرف على الأسباب الرئيسية لحدوث العيوب والتصدعات حتى يمكن توجيه الدراسة للوصول إلى تشخيص سليم للحالة ، والفحص السريع يشمل التحدث مع العميل ومستخدمى المبنى ، والحصول على بعض البيانات اللازمة لتكوين خلفية عن الموضوع والفحص البصرى للمنشأ ، أما الدراسة الدقيقة فتشمل فحص الرسومات ومستندات التنفيذ وفحص المنشأ فحصاً شاملاً ، وقياس عرض الشروخ وعمقها ، وعمل بعض الاختبارات الحقلية والمعملية اللازمة لمعرفة مكونات الخرسانة وقوتها واحتمالات الصدأ وغير ذلك .

وهناك حاجة حقيقية لوجود نظام دقيق للتفتيش على المنشآت الخرسانية المسلحة وبالذات المنشآت ذات الأهمية الخاصة أو المعرضة لظروف بيئية قاسية ، وذلك حتى يمكن تسجيل أى تصدع يحدث فى مراحل مبكرة ، وقد ظهرت هذه الحاجة أكثر فى العقدين الأخيرين نظراً لكثرة التصدعات والانهيئات التى وقعت فى منطقتنا العربية - راجع الباب الثانى . ونوصى فى هذا المجال بأن يصدر قرار بالتفتيش الدورى على المنشآت الخرسانية القائمة كل ثلاث إلى ست سنوات حسب أهمية المنشأ وموقعه ، وذلك حفاظاً على ثروتنا العقارية .

وبعد انتهاء مرحلة الدراسة وتوصيف الأعراض لابد من عمل تشخيص علمي للحالة للوصول إلى أسباب التصدع ، وذلك لكي يقوم العلاج على أساس سليم - راجع خطوات العلاج السليم في الباب الثامن .

أما كيفية الحكم على سلامة المنشآت القائمة ، وتحديد مدى خطورة التصدع ، وتقويم حالة المبنى ككل من الناحية الإنشائية ، فهي مرحلة ثالثة لها خطواتها ودراساتها ، كما سيأتي فيما بعد .

وبذلك يكون تعامل المهندس مع مبنى أصابه التصدع مثل تعامل الطبيب مع مريض ظهرت عليه أعراض المرض ، فينقسم العمل إلى أربعة مراحل :

١ - مرحلة دراسة الحالة من كل جوانبها وتوصيفها بدقة ، وعمل الاختبارات اللازمة .

٢ - مرحلة التشخيص ومحاولة تحديد أسباب التصدع .

٣ - مرحلة تقويم الحالة ، والحكم على سلامة المنشأ .

٤ - مرحلة تحديد العلاج والشروع فيه ، حتى يسترد المنشأ عافيته ، ويؤدي وظيفته بكفاءة .

والمراحل الثلاث الأولى سنتناولها بالتفصيل في هذا الباب ، أما المرحلة الرابعة فقد أفردنا لها بابا خاصا وهو الباب الثامن .

١ - دراسة الحالة

للتحكم على حالة مبنى أصابه التصدع فلا بد من عمل دراسة شاملة تحتوى جميع الأعراض والعيوب الموجودة فى هذا المبنى ، كما تحتوى على البيانات المطلوبة للتشخيص ، ويمكن عمل حصر للبيانات المطلوبة وتحديد خطوات ومسار الدراسة بالتحدث مع العميل - صاحب المبنى - والمستخدمين للمبنى ، ومعاينة المبنى على الطبيعة لفحصه بصريا كفحص مبدئى .

ويجب الحصول على معلومات كافية ودقيقة لتكوين خلفية سليمة عن الموضوع ، ثم يمكن فحص اللوحات الهندسية ومراجعة الحسابات الإنشائية إذا أظهر الفحص المبدئى أن العيوب قد تكون لها علاقة بالتصميم أو التفاصيل الإنشائية - راجع قسم (التشخيص) - ومن المفيد جدا للدراسة فحص مستندات التنفيذ - إن وجدت - والتعرف على ظروف وطرق الإنشاء ومواد البناء التى استخدمت وغير ذلك من المعلومات الهامة .

والدراسة الأولية تحدد ضرورة عمل فحص شامل ودراسة دقيقة من عدمه ، والفحص الشامل يقوم به متخصص ، ويشمل الوصف الدقيق للمنشأ ، وحالته الراهنة ، وظروف تحميله ، والبيئة المحيطة به ، كما يشمل المواد التى استخدمت فى إنشائه وطرق التنفيذ المستخدمة ، وفى حالة وجود شروخ وتشققات بالمنشأ فيجب تحديد أماكنها وقياس عرضها ومتابعتها مع الزمن لمعرفة هل توقفت عن الحركة أم ما زالت تتسع مع الزمن .

وقد تتطلب الدراسة عمل اختبارات لتحديد مكونات الخرسانة المستخدمة وقوتها ، أو لتحديد احتمالات صدأ صلب التسليح ، أو غير ذلك من الاختبارات الهامة لمرحلة التشخيص .

وبذلك تشمل مرحلة الدراسة الآتى :

- ١ - توصيف الأعراض .
- ٢ - تجميع المعلومات عن خلفية الموضوع .
- ٣ - فحص المبنى واختباره .

١ / ١ - توصيف الأعراض :

نظراً لانتشار استخدام الخرسانة المسلحة ، وتعدد مستويات تصميم وطرق تنفيذ هذه

المنشآت ، وتباين طرق استخدامها - فقد تعددت أنواع العيوب والتصدعات بها ، وقد قسمنا العيوب فى الباب الثانى إلى عيوب فى المنشأ ككل وعيوب فى عناصره الإنشائية .

والأعراض التى تظهر على المنشأ تشمل ظواهر مثل الميل والالتواء والانزلاق والهبوط والإزاحة الأفقية وغيرها - شكل (٢ / ١) بالباب الثانى - وقد تصل إلى انهيار جزئى أو كلى - شكل (٢ / ٢) ، شكل (٢ / ٤) - والمجموعة الأولى تتعلق بالصلاحية للاستخدام ، أما المجموعة الثانية فتؤثر على أمان المنشأ ومستخدميه .

وتظهر أعراض المجموعة الأولى فى عدة صور مثل :

* حدوث فرق هبوط يؤدي إلى انحراف المنشأ عن وضعه الأصلي فيحدث له ميل أو التواء ، وقد يكون هذا الميل نتيجة سوء تنفيذ .

* حدوث انزلاق للمنشأ نتيجة وجوده على أرض بها ميل كبير أو حدث بها انهيار محدود للميل slope failure .

* هبوط غير منتظم تحت المنشأ ، فتظهر التشققات فى الحوائط الطوب والحجر أولاً ، ثم تظهر فى الأعضاء الخرسانية بعد ذلك ، وتكون عادة تشققات مائلة وتبدأ من أركان النوافذ والأبواب .

* إزاحة أفقية زائدة عن المسموح به نتيجة الرياح أو الزلازل .

* هبوط رأسى أكبر من المفروض ، وقد يسبب تشققات فى مواد العزل والمباني .

أما الانهيارات الجزئية والكلية فتأخذ صوراً متعددة حسب سبب الانهيار ، وهل هو انهيار فى الأساسات أم أحد الأعمدة والدعامات الرأسية أم سببه الحريق . . وهكذا .

١ / ٢ - المعلومات عن خلفية الموضوع :

إن عمل حصر وتجميع وتنظيم للبيانات والمعلومات الأولية عن موقع المنشأ والمحيط المجاور ، وكذلك عن المبنى نفسه ومعاينة وحصر وتحديد العيوب التى ظهرت فيه ، تفيد فى تشخيص الحالة ، واختيار نوع العلاج المناسب لها ، لذلك فإنه يلزم تجميع كل البيانات الممكنة قبل البدء فى حل المشكلة .

بالنسبة إلى موقع المبنى والمحيط المجاور له فيتم تحديد طبيعة الموقع إذا كان حضرياً أو ريفياً أو صحراوياً ، وكذلك تحديد طبيعة الموقع الطبوغرافية وتوصيف موجودات المحيط

المجاور ، كما أن تحديد الظروف المناخية فى الموقع من حيث الأمطار والرياح ودرجات الحرارة والرطوبة ، والظروف السكانية من حيث كثافة السكان والنشاط الغالب لهم ، وكذلك تحديد قرب موقع المبنى من الشبكات الرئيسية مثل الطرق والسكة الحديد والمجارى المائية مثل الترع والمصارف وغيرها ومحطات الكهرباء والمياه والخزانات ، قد يساعد على تحديد أسباب حدوث التصدعات ، وكذلك اختيار الأسلوب الأمثل للعلاج .

بالنسبة للبيانات الخاصة بالمبنى موضوع المشكلة ، فإنه يجب على المهندس أن يحصل على معلومات بقدر الإمكان عن المنشأ ، بحيث تشمل تاريخ الإنشاء وتفاصيل الإنشاء إن أمكن ، والاستخدام الحالى ، وأى تغيرات سابقة فى الاستعمال والمواصفات المعمارية والإنشائية للمبنى ، وكذلك منافع وخدمات المبنى وبيانات عن الجهة المسؤولة عن تصميم وتنفيذ المبنى والجهة المستعملة له . وتشتمل المواصفات المعمارية للمبنى على نوع المبنى ، ومجال الاستعمال الأصلى له ، وعدد طوابق المبنى ، وعدد الوحدات بكل طابق ، وارتفاع الطابق الواحد ، والارتفاع الكلى للمبنى ، ومساحة كل من الدور الأرضى والأدوار المتكررة ، والعزل الحرارى ، وعزل المياه بالسطح ، ومستوى التشطيب الغالب بالمبنى ، وكذلك منافع وخدمات المبنى من حيث موقع تصريف مياه الصرف الصحى له ، ومواقع تزويده بالمياه والكهرباء ، وأى ملاحظات عن مجمعات المنافع والخدمات بالمنشأ . أما بالنسبة للمواصفات الإنشائية للمبنى فتشمل نظام ونوع الأساسات ومنسوب التأسيس ونظام وعناصر الهيكل الإنشائى والمواد المستخدمة فى عمل الخرسانة المسلحة ، وكذلك مواد الحوائط وملاحظات عن أسس التصميم وشروط التنفيذ المتبعة وقت إنشاء المبنى والعرف الإنشائى فى ذلك الوقت .

١ / ٣ - الخطوات الواجب اتباعها لفحص المبنى :

١ / ٣ / ١ - التحدث مع العميل ومستخدمى المبنى :

يجب أن تكون هناك مصارحة بين العميل - المالك - والمهندس بالبيانات والرسومات المطلوبة ، كما يجب أن يمدد بتاريخ المبنى وظروف استخدامه وتاريخ وتتابع ظهور العيوب ، ويمكن الاستعانة بمستخدمى المبنى فى هذه الجزئية الأخيرة ، كما أن ملاحظاتهم عن أى حوادث صاحبت ظهور العيوب سيكون مفيداً ، ولكن ينبغى الأخذ فى الاعتبار أن البيانات المستقاة من مستخدمي المبنى عن ظروف حدوث العيوب قد تكون غير دقيقة ، إما

لأنهم غير متخصصين أو لدخول الأغراض في تحريف هذه البيانات .

ويجب في نفس الوقت أن يصارح المهندس مالك العقار بكل ما يجده في مراحل الدراسة المختلفة ، وينصحه بخصوص النواحي القضائية إذا كان الأمر سيستدعى إصلاحاً كبيراً ، وإذا كان سبب العيوب قصوراً في التصميم أو عيوباً في التنفيذ حيث يمكن للمالك أن يطالب بالتعويضات المناسبة .

ويمكن عن طريق توجيه أسئلة محددة للمالك والسكان ، تكوين فكرة جيدة عن المراحل التي مر بها التدهور ، حيث إن تحديد أين بدأت الشروخ وكيف تشعبت وتكاثرت ، يعتبر هاماً في تشخيص أسبابها ، كما أن وجود حفر أو سحب مياه من موقع مجاور يمكن أيضاً معرفته منهم ، وكلما كانت أسئلة المهندس متنوعة وشاملة كلما أمكن الحصول على بيانات أوفى عن تاريخ المبنى وتاريخ الظروف الداخلية والخارجية التي أدت إلى التصدع .

١ / ٣ / ٢ - البيانات اللازمة لتكوين خلفية دقيقة :

قبل عمل الفحص الشامل للمنشأ يجب أن يحصل المهندس على المعلومات والبيانات المذكورة في قسم (١ / ٢) من هذا الباب ، ولو أنه في معظم الحالات يكون من الصعب الحصول عليها أو تكون غير متوفرة أصلاً - وخاصة مستندات التنفيذ - لذا يجب على المهندس في هذه الحالة أن يبنى فحصه المبدئي على شكوى المالك أو السكان والمستخدمين للمبنى ، من حيث وجود عيوب بالخرسانة مثل الشروخ أو التساقط أو آثار الصدأ أو آثار نشع المياه ... إلخ .

وبناء على نوع المنشأ وعلى العيوب التي ظهرت ، فإن المهندس يمكن أن يبدأ بعدسة مكبرة ومطرقة ارتداد - المطرقة شميدت - وأجنة وشاكوش ووسيلة سهلة لقياس اتساع الشروخ ، ويقوم بعمل معاينة مبدئية لأماكن العيوب لرسم صورة عامة للحالة ، وذلك لوضع برنامج عمل وتحديد البيانات الإضافية المطلوبة لعمل التشخيص السليم .

١ / ٣ / ٣ - الفحص الأولي للرسومات :

في حالة إمكانية الحصول على اللوحات المعمارية والإنشائية للمبنى ، يتم عمل مراجعة سريعة لما تم تنفيذه على الطبيعة مع هذه اللوحات للتأكد من مطابقته لها ، وبعد التأكد من مطابقة اللوحات للواقع يمكن عمل مراجعة إنشائية سريعة للوحات للتأكد من عدم وجود

قصور ظاهر فى القطاعات أو التفاصيل الإنشائية ، أما فى حالة وجود أى تغيير بين ما تم تنفيذه واللوحات الأصلية فتوضع هذه التعديلات على اللوحات المعمارية والإنشائية ، ويتم رفع المبنى من الطبيعة ومحاولة معرفة تسليح الأعضاء الخرسانية فى المناطق المعيبة لعمل مراجعة إنشائية سريعة له .

أما الفحص الدقيق للرسومات والتحقق من صحة الحسابات ، فلا يتم إلا بعد أن يظهر فحص الشروخ أن لها علاقة بالتصميم أو بتفاصيل الإنشاء ، كما سيأتى ذكره فى القسم الخاص بالتشخيص .

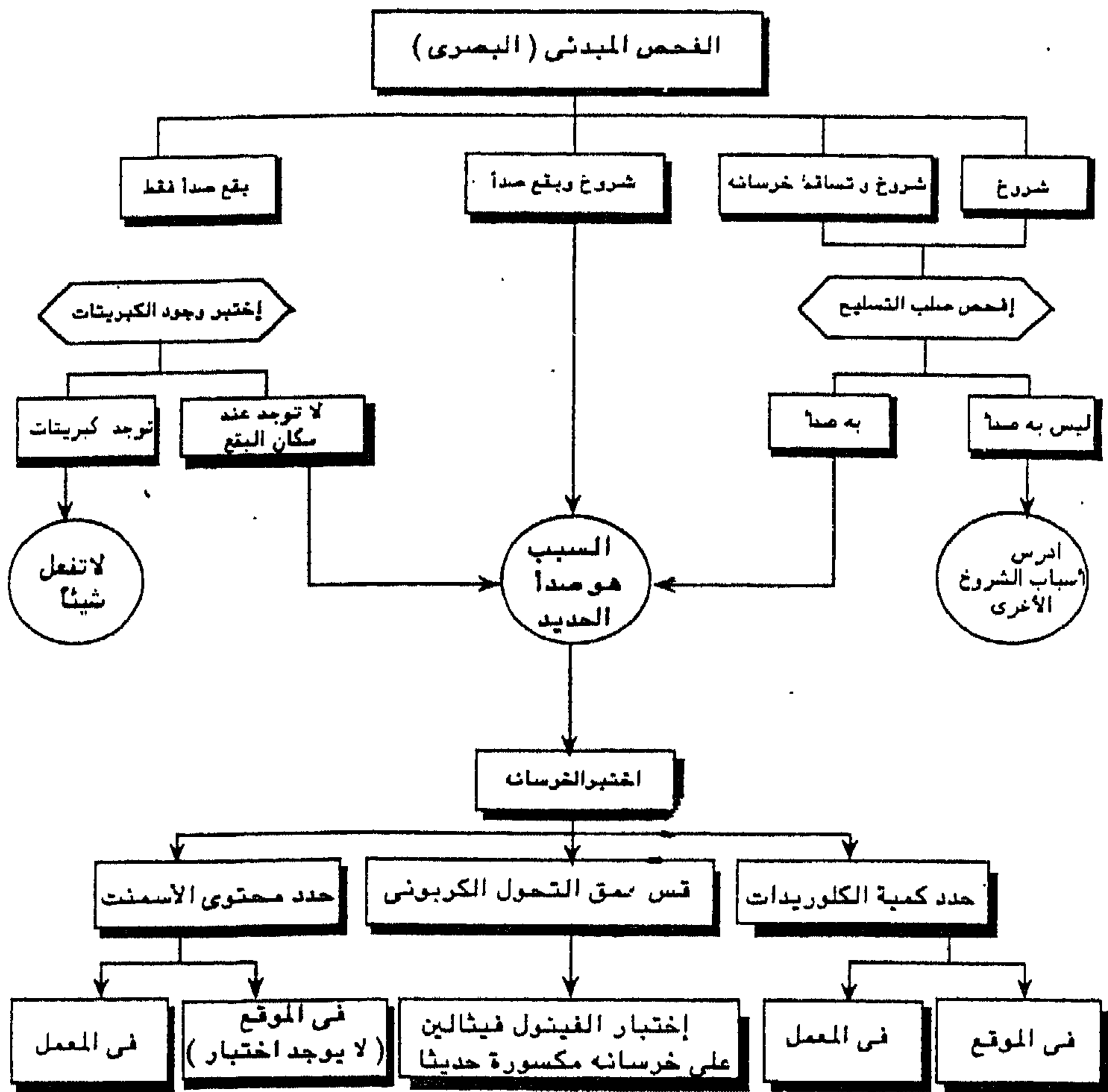
١ / ٣ / ٤ - فحص مستندات التنفيذ :

فى حالة إمكانية الحصول على مستندات التنفيذ ، فإنه يمكن أولاً فحصها مبدئياً لتحديد خطة العمل فى الدراسة ، ثم يمكن فحصها فحصاً دقيقاً ضمن الفحص الشامل إذا أظهرت الدراسة المبدئية الحاجة إلى ذلك ، وفحص مستندات التنفيذ مبدئياً يشمل الإطلاع على تفاصيل الجسات التى تم عملها للتحقق من صلاحية نوع الأساسات المستخدمة لطبيعة التربة ، واحتمال حدوث حركة فى الأساسات من عدمه ، ويشمل الإطلاع على أعمال ضبط الجودة التى أجريت سواء الإطلاع على المواد المستخدمة فى تنفيذ المبنى أو على طرق التنفيذ من حيث تفاصيل الشدات وتصميم الخلطات الخرسانية وأسلوب تجهيز الخرسانة وصبها ومواعيد وإجراءات التسليم الابتدائى والنهائى للمنشأ وذلك لتحديد مستوى الأعمال وخطة ضبط الجودة التى اتبعت .

١ / ٣ / ٥ - الفحص المبدئى للمنشأ :

فحص المنشآت التى حدث بها تصدع يكون على مرحلتين : الأولى : وهى الفحص المبدئى باستخدام الطرق البسيطة لتحديد حالة المبنى ومدى الحاجة إلى فحص شامل وخطة للدراسة . والثانية : الفحص وتجميع كل البيانات الممكنة وقياس الشروخ وحركتها وعمل الاختبارات اللازمة للتشخيص تمهيداً لوضع برنامج للإصلاح .

والفحص المبدئى يحتاج إلى مهندسين متخصصين ذوى خبرة فى هذا المجال ، والغرض من هذه المعاينة المبدئية هو رسم صورة عامة تمكن المهندس من أخذ القرار بالمضى فى الفحص الشامل من عدمه ، وكذلك وضع برنامج للفحص الشامل والحصول على بيانات إضافية مطلوبة وبرنامج لأخذ العينات واختبارها ، ويبين شكل (٥ / ١) دور الفحص المبدئى فى تحديد سبب التصدع لمبنى أصابه الصدا .



شكل (١/٥) - دور الفحص البصري في تحديد سبب العيب في حالة الصدأ

والأجهزة المستخدمة فى الفحص المبدئى تشمل مسطرة من الصلب بدقة ٥ مم ، وعدسة مكبرة - تكبير من ٨ - ١٠ مرات - ومسطرة نجارين (قابلة للطي) الأماكن الضيقة والتي يصعب الوصول إليها ، وشريط ١٥ م للأبعاد والمسافات الكبيرة ومطرقة - ٥٠ جم - وأجنة للكشف عن صلب التسليح ، وفرشاة لتنظيف الأسطح لملاحظة الشروخ ، كما تشمل بخاخة الفينول فيثالين لتحديد أماكن الخرسانة التى حدث لها تحول كربونى (Carbonation) (١) .

ومن المعاينة المبدئية والفحص البصرى ، فإنه يمكن حصر وتحديد العيوب الظاهرة بالعين المجردة وتحديد المواقع التى بها العيوب وقت المعاينة - سواء فى الواجهات الخارجية أو داخل المبنى - وذلك للمبنى بكامله وعلى مستوى كل طابق على حدة ، وتوضع العيوب تفصيلا على كروكى أو على صورة من اللوحات إذا توفرت ، ويستعان بالتصوير الفوتوغرافى فى ذلك ، وتشمل تلك العيوب احتمال وجود ميل بالمبنى فى اتجاه معين ، وكذلك فى حالة وجود شروخ أو تشققات بالمبنى سواء من الداخل أو الخارج ، فإنه يجب بيان مواقعها واتجاهاتها وأبعادها ونوعيتها وكثافة انتشارها ، كما يجب عند عمل الفحص المبدئى ملاحظة إذا كان هناك كسر بمواسير المياه أو الصرف الصحى وتسرب المياه ودرجة هذا التسرب وموقعه ، وفى حالة وجود انهيارات أو تآكل فى الهيكل الخرسانى ، فإنه يجب تحديد مواقعها واتجاهاتها وأبعادها ونوعيتها وكثافة انتشارها ، وكذلك تحديد أماكن الصدأ والتآكل فى صلب التسليح إن وجد ، وفى بعض الحالات فإنه يلزم دراسة أسلوب استخدام المبنى ووضع الملاحظات عن ذلك من حيث استخدام آلات أو معدات ذات وزن ثقيل أو وجود أبخرة أو كيماويات يمكن أن تؤثر على سلامة المبنى أو تعرضه إلى درجات حرارة عالية وغيره .

ويمكن تقدير درجة الخطورة للمشكلة المطروحة بصفة مبدئية وعمل الاحتياطات العاجلة التى تراها مجموعة العمل المكلفة بحصر المعلومات الأولية إذا لزم الأمر ، ويفضل أخذ بعض الصور الفوتوغرافية فى المعاينة المبدئية حتى يمكن الاسترشاد بها ومتابعة تطور الحالة عند عمل التقرير النهائى .

وفى بعض الحالات يمكن أخذ عينات من الخرسانة لعمل اختبارات عليها ، وتحديد نسبة الأسمنت وكذلك نسبة الكلوريدات والكبريتات وعمق التحول الكربونى ، حيث إن هذه المعلومات تفيد فى التخطيط لعمل البحث النهائى المصمم ، ومن الممكن من المعاينة

المبدئية معرفة أن الانهيار ليس إنشائياً ، أى أنه لا يوجد ضعف إنشائي ، وأن المنشأ لا يحتاج إلى تقوية بل يحيد - إلى بعض الإصلاحات والترميمات البسيطة ، ويجب رصد تاريخ استيفاء المعلومات التي تمت في المعاينة المبدئية لأنه قد يحدث تغير في الحالة بمضى الوقت .

١ / ٣ / ٦ - الفحص الشامل :

المقصود من الفحص الشامل هو فحص المنشأ فحصاً دقيقاً - إذا أوضح الفحص المبدئي ضرورة ذلك - للوصول إلى توصيف دقيق لحالة المنشأ ، سواء من ناحية الميل والتشكل أو من ناحية علامات التصدع وتوصيف دقيق لطبيعة الأحمال المؤثرة عليه .

ويجب أن يقوم بالفحص الشامل فنيون مؤهلون وخبراء في هذا العمل ، ويجب الوصول إلى كل أجزاء المنشأ لفحصه عن قرب - حتى لو احتاج الأمر عمل سقالة خارجية - كما يجب ألا يقتصر تقرير الفحص على الوصف الكتابي ونتائج التجارب المعملية والحقلية ، وإنما يستحسن أن يتضمن صوراً فوتوغرافية كلما أمكن ذلك .

ولكى يكون التقرير شاملاً لكل الجوانب الهامة فيستحسن أن يتبع فريق الفحص قائمة (check list) بكل الأمور المطلوبة مثل القائمة المذكورة في الملحق بنهاية هذا الباب (٢) .

١ / ٣ / ٧ - إجراء الاختبارات اللازمة :

بعد عمل الفحص المبدئي وأثناء عمل الفحص الشامل للمبنى يتم تحديد الاختبارات المطلوبة حسب المعلومات المطلوب الحصول عليها ، ويتم ذلك بعد تجميع كل البيانات المتاحة وفحص لوحات المشروع ومستندات التنفيذ ، بحيث يمكن وضع خطة للاختبارات لكي تجرى الاختبارات المطلوبة فقط توفيراً للوقت والتكلفة ، وتساعد نتائج الاختبارات في التشخيص وفي اتخاذ قرار إمكانية عمل الإصلاح من عدمه ، وفي تحديد حجم الإصلاح المطلوب .

وتنقسم اختبارات الخرسانة المسلحة إلى اختبارات متلفة واختبارات غير متلفة ، وقد تطورت الاختبارات في الفترة الأخيرة وتنوعت تنوعاً كبيراً ، وفي الباب الثالث حوالي عشرون نوعاً من الاختبارات غير المتلفة بالإضافة إلى الاختبارات المتلفة والتحليل الكيميائي واختبارات التحميل ، وتختلف الاختبارات حسب المعلومات المراد الحصول عليها كما يلي - جدول (١ / ٥) - :

أ - اختبارات لتحديد جودة الخرسانة وحسن دمكها :

في حالة وجود شك في جودة الصب والدمك فإنه يمكن عمل اختبارات الأشعة (خ ٩ - الباب الثالث) التي تبين وجود فراغات داخلية أو شروخ غير ظاهرة ، كما تستخدم الموجات فوق الصوتية (خ ٧ - الباب الثالث) ، في قياس كثافة الخرسانة وجودة دمكها وذلك بقياس سرعة الموجة (كلما زادت السرعة كلما دل ذلك على قلة كثافة الخرسانة) ، وكذلك تعطى المطرقة المرتدة فكرة عن جودة الخرسانة السطحية (خ ٨ - الباب الثالث) ، أما القلب الخرساني فيعطى صورة داخلية للخرسانة وإن كان اختباراً مكلفاً ومتلفاً في نفس الوقت (خ ٢٠ - الباب الثالث) .

ب - سلامة الأعضاء الخرسانية :

تستعمل اختبارات الاهتزازات والنبضة الصوتية وأشعة جاما (خ ١ إلى خ ٣ - الباب الثالث) لتقدير كثافة الخوازيق ، وجودة دمكها ، والكشف على أية اختناقات بها .

ج - مقاومة الخرسانة :

لتقدير مقاومة الخرسانة يمكن عمل اختبارات غير متلفة مثل الموجات فوق الصوتية والمطرقة المرتدة ، ولكن لا بد من الأخذ في الاعتبار الاحتياطات التي ذكرت في الباب

الثالث عند استخدام هذه الاختبارات فى الحكم على قوة الخرسانة ، أما الاختبار الذى يعطى نتائج دقيقة عن قوة الخرسانة فى مبنى قائم فهو اختبار القلب الخرسانى ، حيث تؤخذ عينة من داخل العضو الإنشائى ثم تختبر فى ماكينة الضغط بالمعمل لتعطى المقاومة الفعلية للخرسانة ، وإن كانت هناك بعض الاحتياطات فى كيفية أخذ العينة وعمل تسوية لسطحها مذكورة فى الباب الثالث .

ويمكن استعمال اختبار التصدع الداخلى (خ ٤ - الباب الثالث) فى تقدير مقاومة الخرسانة كذلك ، كما يستعمل اختبار الدفع إلى الخارج فى تقدير مقاومة خرسانات الطرق .

د - نفاذية الخرسانة :

يقاس مدى سهولة تغلغل السوائل الضارة داخل الخرسانة عن طريق اختبار الامتصاص السطحي (خ ١٨ - الباب الثالث) ، كما تقاس نفاذية الهواء إلى قلب الخرسانة عن طريق اختبار النفاذية (خ ١٩ - الباب الثالث) ، ويمكن استخدام عينات القلب الخرسانى ذات الأقطار الصغير (٧,٥ سم) فى عمل اختبار الامتصاص ، حيث أعطت المواصفات البريطانية BS 1881 (٣) حدود الامتصاص المسموح بها للخرسانة فى الأعمار المختلفة .

هـ - درجة التشرح :

فى حالة الشروخ السطحية الدقيقة جداً يمكن استعمال الأشعة فوق البنفسجية لرسم صورة لهذه الشروخ (٤) ، أما إذا كانت الشروخ أكبر من ٠.٢٥ ، مم فيمكن قياسها باستخدام المنظار المكبر (خ ١١ - الباب الثالث) ، وتستعمل أجهزة قياس الانفعال الميكانيكية فى قياس الزيادة فى اتساع الشرخ ، كما يمكن قياس حركة الشرخ عن طريق أجهزة قياس الحركة الميكانيكية (خ ١١ - الباب الثالث) ، وتستعمل الموجات الصوتية فى رسم صورة للشروخ الداخلية فى العضو الخرسانى ، حيث يحدث الشرخ الداخلى الموجود فى مسار النبضة تغيراً كبيراً فى سرعتها ، ويمكن اكتشاف هذه الشروخ الداخلية - وحتى تحديد طولها - عن طريق استقبال الإشارات على شاشة جهاز مرسمة الذبذبات كما هو موضح فى اختبار خ ٧ فى الباب الثالث .

المعلومات المطلوبة	طرق الاختبار المتاحة	ملاحظات
سلامة الأعضاء الخرسانية (خواريق)	الاهتزازات النبضة الصوتية أشعة جاما	وجود الحبير ضروري
دمك الخرسانة وجودتها	أشعة إكس وجاما الموجات فوق الصوتية مطرقة الارتداد القلب الخرساني	وجود الحبير ضروري يمكن أن تعطى فكرة من مقاومة الخرسانة
مقاومة الخرسانة	القلب الخرساني core التصدع الداخلي Internal Fracture الدفع push off	— — يجري على بلاطات الطرق
النفاذية	امتصاص القلب الخرساني الامتصاص السطحي النفاذية	— — —
درجة التشرخ	الأشعة فوق البنفسجية الموجات فوق الصوتية	للتشروخ السطحية الدقيقة للتشروخ الداخلية
الغطاء الخرساني ومكان أسياخ التسليح	مقياس الغطاء الخرساني أشعة إكس وجاما الكشف على صلب التسليح	— وجود الحبير ضروري إذا أمكن ذلك
درجة صدأ صلب التسليح	قياس القابلية الكهربائية قياس المقاومة الكهربائية الكشف على صلب التسليح ...	— — إذا أمكن ذلك
محتوى ونوع الأسمنت	تحليل كيميائي تحليل صخري petrographic	وجود الحبير ضروري وجود الحبير ضروري
نسبة الماء / الأسمنت	اختبار التشبع بالماء قياس محتوى الرطوبة كهربيا	وجود الحبير ضروري وجود الحبير ضروري
نسبة ونوع الإضافات نسبة الجير الحر	تحليل كيميائي تحليل كيميائي	وجود الحبير ضروري وجود الحبير ضروري
نوع الركام	تحليل كيميائي تحليل صخري	وجود الحبير ضروري وجود الحبير ضروري
عمق التحول الكربوني	الرش بالفينول فيثالين	يجب كشف الخرسانة لاختبارها

جدول (٥ / ١) تقسيم طرق الاختبار حسب المعلومات المطلوب معرفتها

و - الغطاء الخرساني ومكان صلب التسليح :

يقاس سمك الغطاء الخرساني بمقياس الغطاء الخرساني Covermeter (خ ١٠ - الباب الثالث) ، أما تحديد مكان صلب التسليح فيمكن استخدام نفس الجهاز في تحديده بطريقة تقريبية ، والأفضل تكسير جزء من الغطاء الخرساني للكشف عن الأسياخ إن أمكن ذلك ، والميزة في هذا أن الكشف على الأسياخ سيبين وجود الصدا إن وجد ، كما سيحدد أقطار الأسياخ ، وللكشف على مكان الأسياخ بدقة ، وبدون تكسير للخرسانة السطحية يمكن استعمال اختبارات الأشعة (خ ٩ - الباب الثالث) وإن كانت طريقة مكلفة ، ويجب أن يقوم بالاختبار خبير في هذا الموضوع .

ز - درجة الصدأ :

يمكن تحديد درجة الصدأ عن طريقة قياس القابلية الكهروكيميائية ، لصلب التسليح ، حيث إن الصدأ عملية كهروكيميائية ، واختبار القابلية الكهربية (The half cell) (خ ١٣ - الباب الثالث) يقيس قابلية الصلب للصدأ في حالة فقد الحماية السلبية التي توفرها له الخرسانة السطحية ، أما درجة الصدأ فتقاس كهربياً بقياس مقاومة صلب التسليح للكهرباء (خ ١٤ - الباب الثالث) ، فكلما زادت المقاومة كلما كان ذلك دليلاً على وجود صدأ أكثر ، ونتائج هذين الاختبارين تستخدم في تحديد الأماكن الأكثر احتمالاً بأنه حدث بها صدأ والمناطق السليمة الخالية من الصدأ ، ولكن يصعب الوصول إلى نتائج دقيقة عن مدى الصدأ الحادث من نتائج هذين الاختبارين .

والكشف على أسياخ التسليح بإزالة الخرسانة السطحية - إن أمكن - تحدد مدى الصدأ ، حيث يمكن قياس قطر الأسياخ بعد إزالة طبقات الصدأ ومعرفة مدى النقص الحادث فيها .

وللكشف على الصدأ في كابلات الشد السابق في الخرسانة سابقة الشد يستعمل جهاز الاندوبروب ، الذي يتم إدخاله في هذه الكابلات لفحصها (خ ١٠ - الباب الثالث) .

ح - عمق التحول الكربوني :

وأهمية تحديد هذا العمق هو أنه إذا وصل التحول الكربوني للخرسانة السطحية إلى صلب التسليح ، فإن هذا الصلب يفقد الطبقة الحامية له ويصبح عرضة للصدأ ، وتحديد هذا العمق سهل عن طريق رش الخرسانة السطحية المكسورة حديثاً بمحلول الفينول فيثالين الذي يصبح لونه وردياً عند ملامسة الخرسانة ذات القاعدة الطبيعية ، أما عند ملامسته للخرسانة التي فقدت قاعدتها فإنه يفقد هذا اللون الوردي (خ ١٦ - الباب الثالث) .

ط - اختبارات تحديد مكونات الخرسانة :

ويستعمل عادة التحليل الكيميائي في ذلك ، حيث يمكن عن طريقه تحديد محتوى ونوع الأسمنت المستخدم ، ونسبة ونوع الإضافات ، ونسبة الجير الحر في الخلطة (خ ١ ، خ ٢٣ ، خ ٢٤ - الباب الثالث) أما نوع الركام فلتحديدده يمكن عمل تحليل صخري pet-rographic analysis وإذا أمكن الحصول على عينات من المواد التي استخدمت في

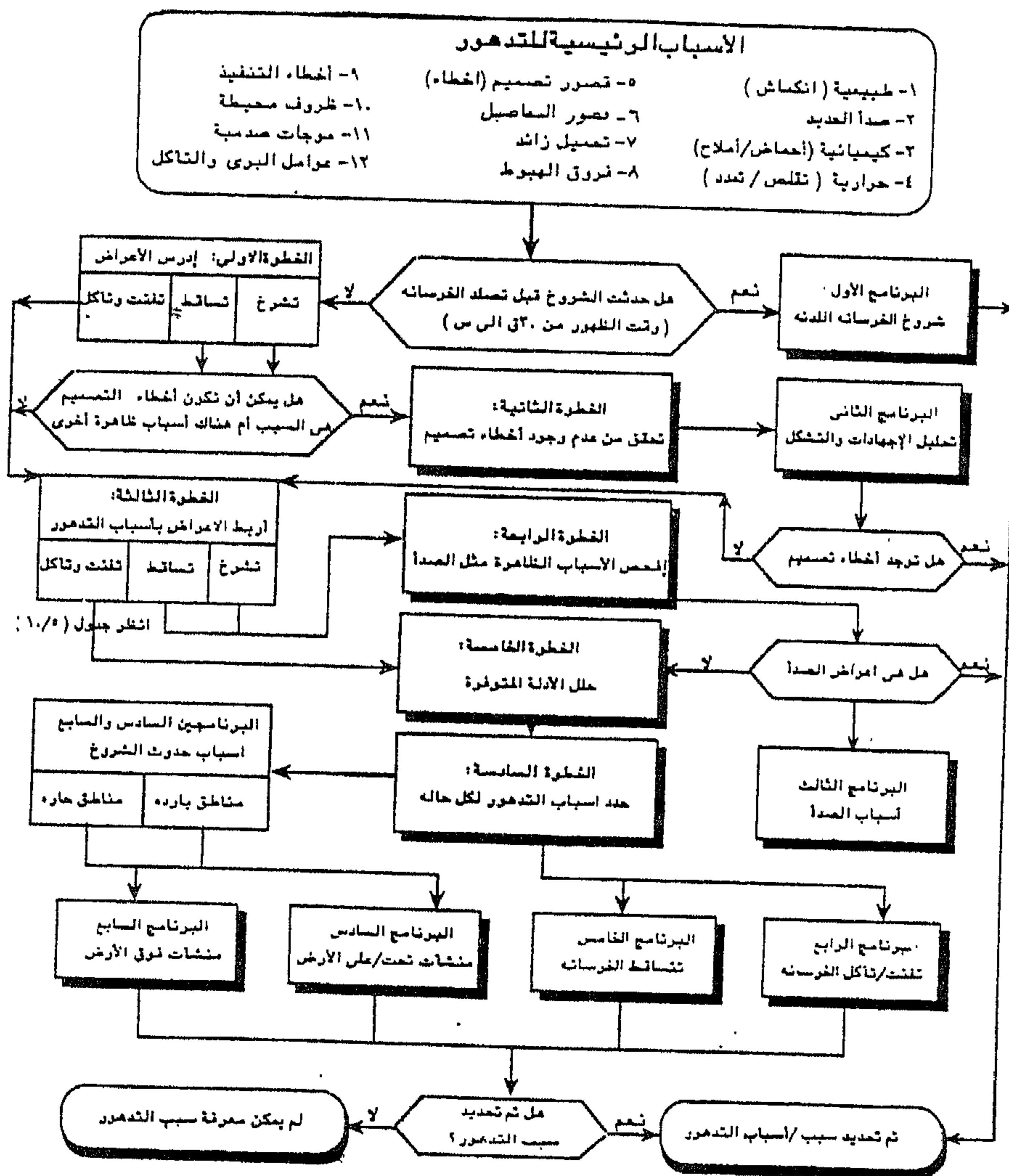
صنع الخرسانة فيمكن تقليل نسبة الخطأ في التحليل الكيميائي أو الصخري بدرجة كبيرة .
أما تحديد نسبة الماء : الأسمنت في الخرسانة المتصلدة عن طريق غمرها في الماء
فتعطي نتائج تقريبية فقط ، والأفضل الرجوع إلى مستندات التنفيذ لتحديد هذه النسبة .

٢ - التشخيص

إن تشخيص الأعراض التي ظهرت على منشأ خرساني ، ومعرفة سبب التدهور ، تعتبر إلى حد كبير عملية استبعاد للاحتتمالات غير المرجحة وحتى الوصول إلى الاحتمال الأكثر ترجيحاً - شكل (٥ / ٢) - ويجب الأخذ في الاعتبار أن أى طريقة للتشخيص مهما كانت شاملة فقد لا تؤدي دائماً إلى احتمال وحيد للتصدع ، وسبب ذلك غالباً هو نقص المعلومات الدقيقة عن تاريخ المنشأ ووقت ظهور الشروخ والملابسات المحيطة بذلك ، وهناك سبب آخر هو مستوى المعرفة الحالية والتقدم العلمى فى مجال اختبار المنشآت الخرسانية ومدى القدرة على تشخيص أسباب العيوب ، ولكن فى بعض الحالات يكون سبب العيب ظاهراً ، وعن طريق بعض الاختبارات التأكيدية يمكن تحديده بثقة والبدء فى العلاج .

ومشكلة نقص المعلومات مشكلة أساسية فى صعوبة التشخيص ، ويرجع ذلك لعدم تسجيل المعلومات الهامة أولاً ، ثم لعدم الاحتفاظ بها فى السجلات الخاصة بالمنشأ بعد انتهاء الإنشاء ، فكثيراً ما نجد أن معلومات أساسية مثل نوع وكمية الأسمنت فى الخلطة ونسبة الماء ومصدر الركام وطريقة الدمك والظروف الجوية وغير ذلك غير معلومة ، ولكن رغم هذا العائق فإنه باتباع أسلوب علمى فى التشخيص - كالخطوات المبينة فى هذا الجزء - وعمل الاختبارات الملائمة - راجع فصل ١ / ٣ / ٨ - والاعتماد على الفهم العميق لأسباب العيوب - راجع الباب الرابع - والخبرة الشخصية فى هذا المجال ، والاعتماد على الحكم الهندسى السليم ، يمكن عمل الكثير نحو تشخيص أسباب التصدع ووضع خطوط عريضة للإصلاح .

وقبل عرض الخطوات الواجب اتباعها عند التشخيص فلا بد من كلمة تحذير وهى : أنه مالم يكن السبب الذى تم التوصل إليه ظاهراً بما لا يدع مجالاً للشك ، فلا ينصح بالتوقف عند خطوة ما فى طريق التشخيص ؛ لأن العيوب التى ظهرت قد تكون بسبب عدة عوامل وليس عاملاً واحداً ، ولا يكفى تحديد عامل واحد وعلاجه حتى وإن كان أكثر هذه العوامل ظهوراً ، وإنما يجب تحديد كل العوامل التى قد تكون السبب فى هذه العيوب لكى يكون العلاج سليماً .



شكل (٢ / ٥) رسم تخطيطي لأسلوب تشخيص أسباب التدهور

٢ / ١ - : نسيخ شروخ الخرسانة اللدنة - شكل (٣ / ٥) - :

وهذه الشروخ تظهر فى مرحلة التنفيذ وقبل تصلد الخرسانة - أى فى مدى ست ساعات من الصب - وتحديد أسباب ظهور هذه الشروخ يختلف باختلاف مكان الظهور وشكل الشروخ ، فالشروخ التى تظهر فى البلاطات قد يكون سببها الانكماش اللدن إذا حدث بخر سريع من السطح - وتكون الشروخ فى هذه الحالة ذات شكل عشوائى - أو إذا كانت شروخا فى سطح بلاطات الطرق الخرسانية فتكون مقوسة ومتتالية - شكل (٢ / ٤) بالباب الرابع .

أما الشروخ الطولية التى تأخذ شكل الأسياخ العلوية فغالباً ما تكون بسبب الهبوط اللدن قرب الأسياخ عند السطح العلوى - شكل (٤ / ٤ - أ) - بالباب الرابع - والشروخ الطولية فى حالة عدم وجود أسياخ قريبة من السطح قد تكون بسبب التغير فى العمق فى حالة البلاطات ذات الأعصاب أو التغير فى عمق البلاطات اللاكمرية - شكل (٤ / ٤ - هـ) - وقد تكون هذه الشروخ بسبب هبوط الشدة أو هبوط الأرض تحت الشدة وشكل الشروخ فى هذه الحالة هو الذى يعطى فكرة عن السبب و ملاحظة أن هبوطاً قد حدث هى التى ترجحه .

أما الشروخ فى الكمرات المقلوبة فتظهر على السطح العلوى ، وهى إما شروخ طولية بجانب أحد جانبي الكمرة ، ويكون سببها فى هذه الحالة هو تحرك جانب الشدة - شكل (٤ / ٧) - أو شروخ طولية وعرضية تأخذ شكل التسليح العلوى والكانات ، وسببها غالباً الهبوط اللدن فى حالة الكمرات العميقة .

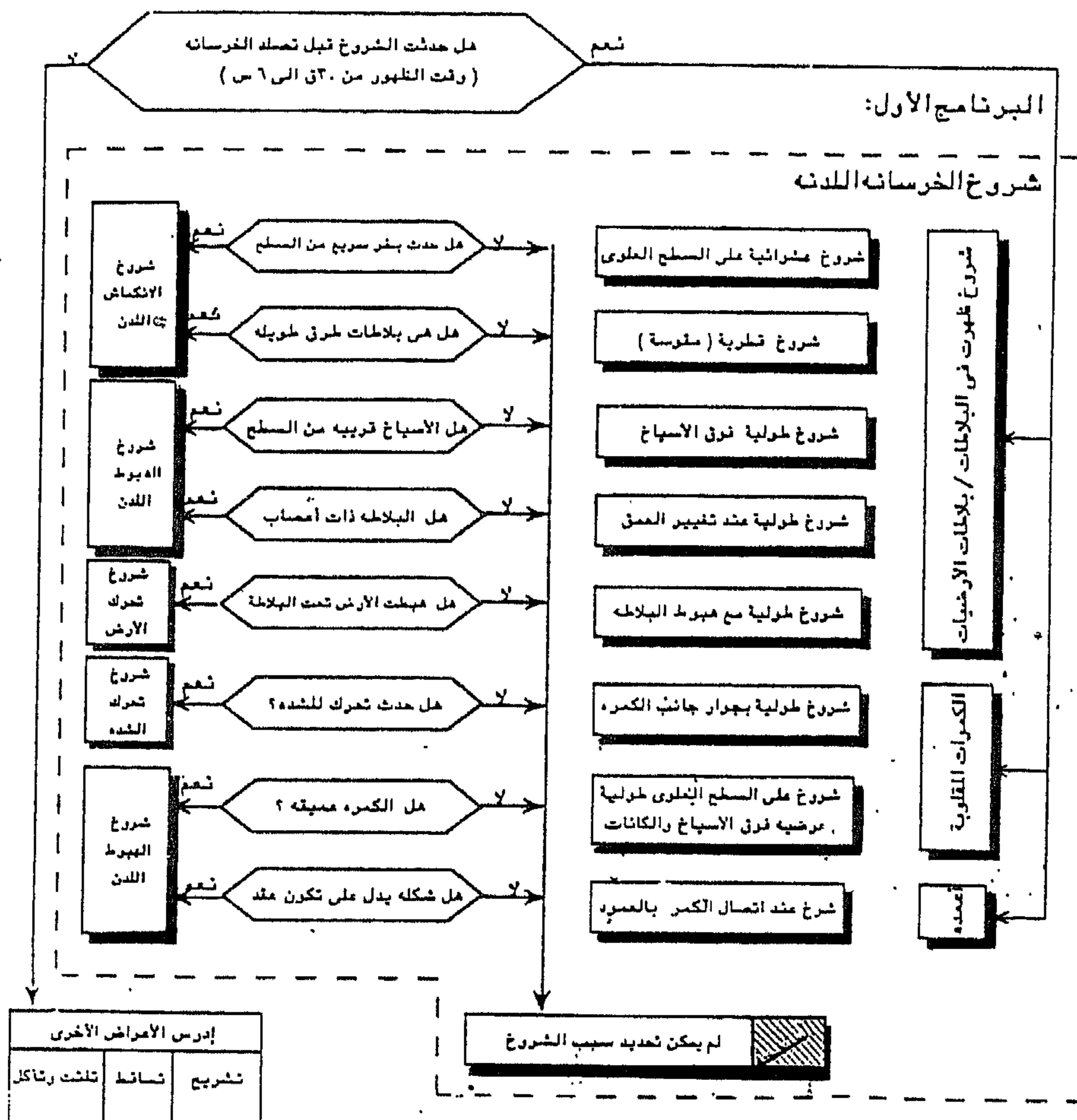
وظهور شروخ عند اتصال الكمرة بالعامود بعد فك العامود مباشرة يكون سببها الهبوط اللدن إذا كان الشرخ مقوساً ، يدل على حدوث عقد Arch - شكل (٤ / ٤) - أما الشروخ الرأسية فغالباً ما يكون سببها عدم تدعيم الشدة وحركتها بعد الشك الابتدائى للخرسانة .

٢ / ٢ - : تشخيص عيوب الخرسانة المتصلدة - شكل (٢ / ٥) - :

٢ / ٢ / ١ - : دراسة الأعراض (الخطوة الأولى) :

هناك ثلاثة أعراض رئيسية لتصدع المنشآت الخرسانية :

إما شروخ Cracking .



شكل (٥ / ٣) رسم تخطيطي لخطوات البرنامج الأول شروع الخرسانة اللدنة

أو تساقط الخرسانة Spalling .

أو تفتت وتآكل الخرسانة السطحية Disintegration .

ودراسة هذه الأعراض يعنى ملاحظة الأسباب الظاهرة للعيوب مثل أعراض الصدأ ، أو الانتفاخ والتمليح المصاحب لهجوم الكيماويات ، أو الهبوط فى الأساسات نتيجة حفر مجاور أو ما شابه ذلك من الأسباب ، لأنه فى حالة وجود أسباب ظاهرة واضحة فإن التشخيص سيكون سهلاً ، ولا يصبح هناك داعياً لاتباع باقى الخطوات إلا إذا كان هناك شك فى وجود أسباب أخرى غير الأسباب الظاهرة .

وفى حالة عدم وجود أسباب واضحة أو الرغبة فى متابعة استقصاء أسباب العيوب ، فلا بد من الإجابة على سؤال هام وهو : هل يمكن أن تكون أخطاء التصميم هى السبب فى حدوث العيوب أم لا ؟ فإذا كانت الأعراض بعيدة عن أن تسببها إجهادات عالية أو تشكّل زائد أو هبوط وحركة فى الأساسات - وذلك بخلاف تأثير العمل فى موقع مجاور - فإن خطوة التحقق من وجود أخطاء تصميم يمكن إغفالها ، أما إذا كان احتمال أن تكون أخطاء التصميم هى السبب الأكثر احتمالاً لا يمكن استبعاده ، فالخطوة التالية يجب أن تكون تقصى هذا الاحتمال ، وفى هذا الصدد يجب التنبيه على أن تفتت وتآكل الخرسانة السطحية من غير الممكن أن يكون سببه أخطاء فى التصميم وإنما ذلك قاصر على أعراض التشريح وتساقط الخرسانة فقط .

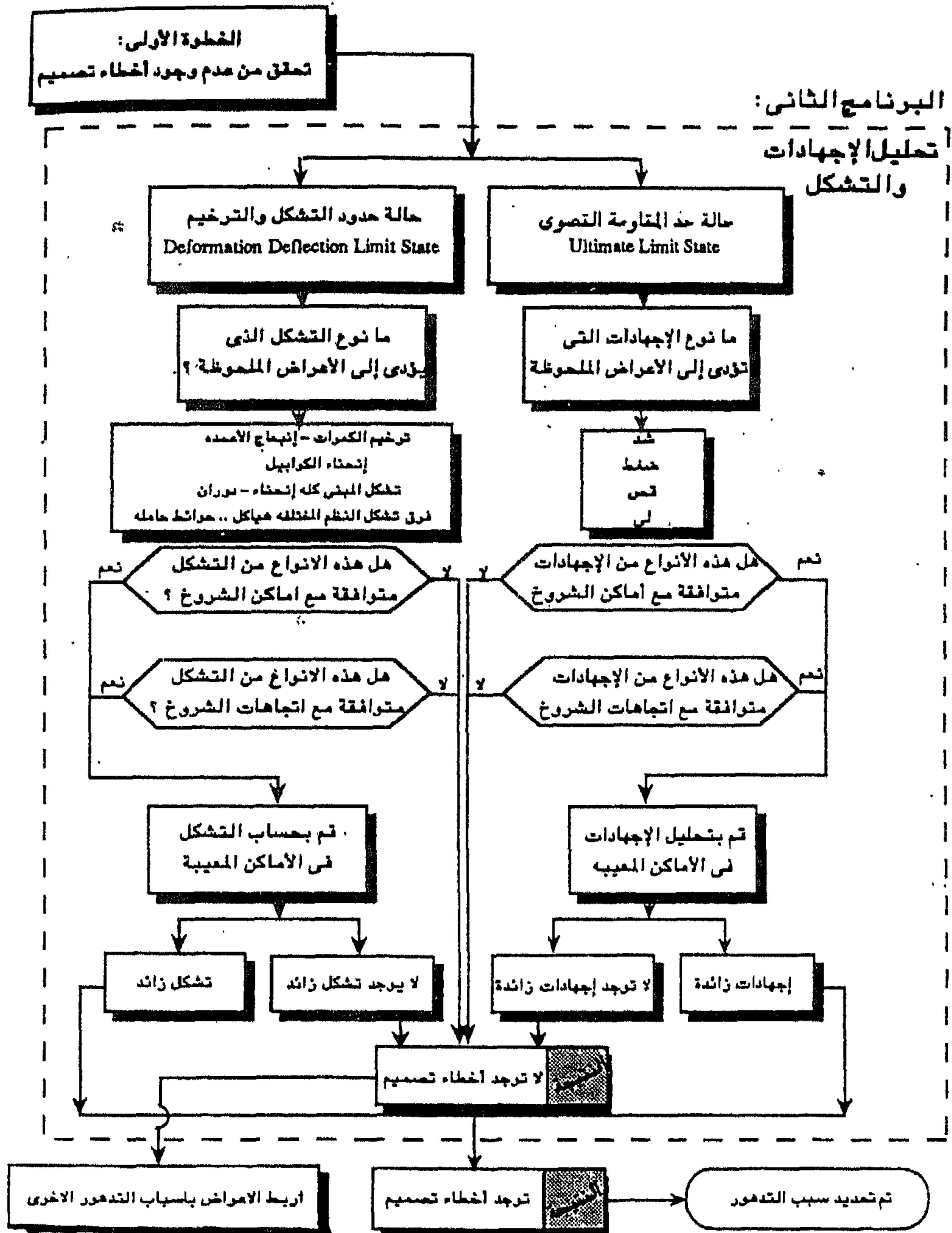
٢ / ٢ / ٢ - التحقق من عدم وجود أخطاء تصميم (الخطوة الثانية) - (شكل ٥ / ٤) - :

وأخطاء التصميم التى يمكن أن تسبب حدوث تصدعات فى المنشآت الخرسانية تدرج تحت ثلاثة أقسام رئيسية :

١ - أخطاء تصميم تؤدي إلى زيادة الإجهادات عن قدرة الأعضاء على التحمل Overstress .

٢ - أخطاء تصميم تؤدي إلى زيادة التشكّل عن المسموح به .

٣ - أخطاء تصميم تؤدي إلى هبوط أو حركة فى الأساسات لا يستطيع المنشأ استيعابها بدون تصدع .



شكل (٥ / ٤) رسم تخطيطي لخطوات البرنامج الثاني تحليل الإجهادات والتشكيل

ويجب التنويه على أن أخطاء التصميم لا تحدث كثيراً وخاصة بعد استحداث نظم مراجعة التصميم قبل التنفيذ - من جهة غير الجهة المصممة - ولكنها تحدث أحياناً ، ولذا فإن مراجعة الرسومات والنوتة الحسابية الخاصة بالمنشأ يتم فقط إذا كان هناك دليل واضح على أحد أخطاء التصميم المبينة عليه .

٢ / ٢ / ١ - القسم الأول :

وبالنسبة للقسم الأول من أقسام أخطاء التصميم ، فإن أسلوب المراجعة يمكن أن يتم كما يلي :

أ - يحدد نوع الإجهادات التي من المحتمل أن تكون سبب الأعراض التي تم ملاحظتها - إجهادات شد ، ضغط ، قص ، لى (Torsion) تماسك .. إلخ - فعلى سبيل المثال إجهادات الشد تسبب شروخاً بدون تساقط في الخرسانة وعادة ما يكون شروخاً واحداً أو مجموعة قليلة من الشروخ كافية ليزول القيد على الحركة المسبب للشروخ ، أما إجهادات الضغط العالية فغالباً ما تكون مصاحبة بتساقط الخرسانة وتفتتها (Crushing) قبل تخفيف أو زوال القيد على الحركة ، وزيادة إجهادات القص أو اللي قد يصاحبها تساقط الخرسانة أو لا يصاحبها . ولكن شكل الشروخ يكون واضح الدلالة لأنها شروخ مائلة ، وعلى ذلك فإذا كانت الشروخ غير مائلة وغير مصاحبة بتساقط في الخرسانة فيمكن استبعاد إجهادات الضغط والقص الزائدة وبالعكس إذا كان هناك تساقط في الخرسانة فيمكن استبعاد إجهادات الشد الزائدة .

كما أنه يمكن ربط مكان واتجاه الشروخ في العضو الخرساني بنوع الإجهاد الزائد المحتمل ، فمثلاً العصب (Web) عادة ما يقاوم القص ، والشروخ فيه عادة ما تكون نتيجة نقص في تسليح القص ، أما الشفة (Flange) فهي تقاوم الانحناء ، وتكون إجهادات الشد القصوى نتيجة الانحناء هي عادة سبب الشروخ الطولية فيها ، وتبلغ إجهادات اللي أقصى قيم لها في منتصف الأسطح الخارجية للكمرات المستطيلة ، وتحدث شروخ اللي على الوجهين ولكن في اتجاهين مختلفين ، وبالتالي فإن ظهور شروخ قص في الشفة أو شروخ شد أو ضغط في العصب يكون غير متفق مع نمط الإجهادات الأصلية ، ولا بد أن له سبباً آخر غير أخطاء التصميم ، وعلى سبيل المثال فإن ظهور شروخ شد في الشفة المعرضة للضغط يكون غير متفق مع الإجهادات الأصلية ، ويصعب أن يكون سببها زيادة في الإجهادات ، وبالمثل فتساقط

الخرسانة في منطقة الشد أو تفتتها لا يتفق مع الإجهادات الأصلية .

أما في حالة العصب المعرض لإجهادات مركبة - قص وضغط مثلاً - فيمكن أن يتعرض لشروخ قص أو تساقط الخرسانة وتفتتها نتيجة إجهادات ضغط زائدة حسب العلاقة بين قيم الإجهادات العمودية على القطاع - إجهادات الضغط - والإجهادات الواقعة في القطاع - إجهادات القص .

ب - وبعد تحديد نوع الإجهادات المحتمل أن تكون سبباً في الشروخ التي ظهرت ، يمكن مقارنة مكان هذه الإجهادات بـ أماكن العيوب التي ظهرت فعلاً ، والتحقق من وجود اتفاق بين هذه وتلك .

ويجب الأخذ بعين الاعتبار موقع العيب في العضو الخرساني ، ففي كل منشأ هناك قطاعات عليها إجهادات عالية وقطاعات غير مجهددة بنفس الدرجة ، وذلك حسب مقتضيات التصميم الإنشائي ، فيمكن للفاحص أن ينظر هل المناطق المعيبة واقعة في القطاعات المعرضة لأعلى إجهادات أم لا ، وفي هذا الصدد يجب ألا ننسى ربط أماكن الشروخ أو تساقط الخرسانة بـ أماكن وقف أسياخ التسليح أو تكسيحها ، حيث قد تزيد الإجهادات زيادة كبيرة عند وقف أو ثني عدد كبير من الأسياخ دفعة واحدة ، كما يجب ألا ننسى حالة الإجهادات المركبة العالية التي تحدث في الأعصاب قرب الركائز ، حيث تكون إجهادات القص أكبر ما يمكن ، وتتواكب معها إجهادات ضغط عالية كذلك مما يؤدي إلى حدوث شد قطري (Diagonal tension) .

ج - وإذا لم يظهر أي اتفاق بين مكان العيوب ومكان الإجهادات العالية فالخطوة الثالثة هي فحص اتجاه الشروخ ، والتحقق من توافق نمط واتجاه الإجهادات الأساسية مع اتجاه الشروخ ، فشروخ الشد يجب أن تكون عمودية على اتجاه إجهادات الشد ، وشروخ القص تظهر في صورة شد قطري ، وشروخ هبوط الأساسات عادة ما تكون ذات اتجاه قطري كذلك .

د - أما إذا كان هناك عدم توافق بين مكان أو اتجاه أو نوع الشروخ مع نمط واتجاه الإجهادات الأساسية - كما أوضحنا عاليه - فاحتمال أن تكون الإجهادات العالية هي سبب المشكلة احتمال ضئيل جداً ، ويمكن استبعاده ، ولكن إن كان هناك توافق بين مكان واتجاه العيوب وبين مكان واتجاه الإجهادات الأساسية في العضو الخرساني ،

فيمكن أن يكون التصميم هو سبب المشكلة ، وفي هذه الحالة يتم عمل تحليل إجهادات دقيق في المناطق المعيبة لحساب الإجهادات الفعلية ، ومقارنتها بقدرة الأعضاء الفعلية على مقاومة الإجهادات .

وهناك ملاحظة هامة وهي أنه في حالة استبعاد أن تكون الإجهادات الزائدة هي سبب المشكلة ، نتيجة عدم التوافق بين أماكن واتجاهات الشروخ وأماكن واتجاهات الإجهادات الأساسية ، فلا بد من الوصول إلى سبب العيوب التي ظهرت وإلا فيجب الرجوع إلى هذه الخطوة مرة ثانية لبحث احتمال حدوث تجمع Combination غير عادى من الإجهادات - نتيجة حالات تحميل غير متوقعة مثلاً - تكون هي سبب العيوب .

٢ / ٢ / ٢ - القسم الثانى :

أما القسم الثانى من أخطاء التصميم الذى قد يؤدي إلى عيوب في المنشأ وهو الخاص بالتشكل الزائد ، فيمكن مراجعته طبقاً للخطوات التالية :

أ - يحدد نوع التشكل الذى قد يكون سبباً في العيوب التي تمت ملاحظتها ، فالكمرات يمكن أن يحدث بها ترخيم زائد نتيجة الأحمال العالية مع نقص الجساءة أو تشكل نتيجة فروق هبوط الأساسات والأعمدة أو نتيجة انحناء أو دوران المبنى ككل نتيجة الرياح مثلاً ، والكوابيل عادة ما يكون تشكلها عبارة عن انحناء زائد ، أما الأعمدة فيمكن أن يحدث بها انبعاج نتيجة زيادة الطول غير المدعم ، أو تشكل نتيجة دوران أو انحناء المبنى ككل ، أو دوران وهبوط الأساسات . . وهكذا .

ب - يحدد هل هذه الأنواع من التشكل متوافقة مع أماكن الشروخ ؟ فمثلاً هل الشروخ في الكمرات ذات البحر الكبير موجودة في منتصف الكمرة من أسفل ؟ وهل شروخ الأعمدة موجودة في منتصف الارتفاع من ناحية وعند اتصاله بالسقف أو الأساسات من الناحية الأخرى ؟ وهل شروخ الكوابيل موجودة عند اتصال الكابولي بالعامود أو البحر المجاور ؟

ج - التحقق من موافقة اتجاه الشروخ بأنواع التشكل المحتمل أن تسببها ، وفي هذا الصدد فلا بد من تخيل كيفية دوران الوصلات المختلفة Joints ، مثل اتصال العامود بالقاعدة ، واتصال الكمرة بالعامود ، وذلك لرسم خط التشكل (Deflected line) للعضو الخرساني المعيب لتحديد اتجاهات الشروخ التي يسببها تشكل معين ، وهناك أكثر من

خط تشكل محتمل حسب دوران الوصلات وحسب الجساءة النسبية للأعضاء المتصلة ، ولكن بوجه عام فإن اتجاه الترخ الذي يسببه تشكل الأعضاء يكون عمودياً على الاتجاه الطولي للعضو ، وعادة ما يكون عند منتصف الطول أو عند اتصال العضو بأعضاء أكبر جساءة .

د - في حالة وجود توافق بين أماكن الشروخ واتجاهها وبين أنواع التشكل المحتملة ، يمكن حساب التشكل في الأماكن المعينة وذلك على مستويين : حساب التشكل للعضو الخرساني بمفرده مع الأخذ في الاعتبار حالة الأطراف End conditions ، وحساب التشكل والدوران للمبنى ككل نتيجة أحمال الرياح أو هبوط الأساسات مثلاً ، وهذه الحالة تحتاج إلى الاستعانة ببرنامج على الحاسب الآلى ، وبمقارنة التشكل والترخيم المحسوب بالقيم المسموح بها يمكن التحقق من أن سبب العيوب هو تشكل زائد من عدمه .

٢ / ٢ / ٣ - القسم الثالث :

والقسم الثالث من أخطاء التصميم والخاص بالخطأ في تصنيف الأساسات لا تظهر الحاجة إلى بحثه إلا في حالة ربط العيوب بحدوث حركة أو هبوط في الأساسات ، ويمكن الوصول إلى هذه النتيجة عن طريق ملاحظة أماكن واتجاه العيوب ، فهبوط الأساسات يسبب أضراراً بالأدوار السفلى أساساً ، وتكون على هيئة شروخ قطرية في المبنى قبل أن تظهر في الأعضاء الخرسانية ، ولكن حتى عندما يكون الاحتمال الأكبر أن يكون السبب هو هبوط الأساسات فيصعب التفرقة بين الهبوط الذي يكون سببه أخطاء التصميم أو أن يكون له سبب من الأسباب الكثيرة المؤثرة في الهبوط مثل الحفر المجاور أو المياه المتسربة ... الخ ، ولكي يمكن استبعاد احتمال وجود خطأ في تصميم الأساسات فلا بد من إعادة الحسابات من واقع الأحمال الفعلية الواقعة على الأساسات ومن واقع الخصائص الفعلية للتربة ، بعد عمل الجسات اللازمة ، ومقارنة هذه الحسابات بحسابات التصميم الأصلية للتحقق من الآتى :

- ١ - عدم وجود زيادة في الأحمال الفعلية عن الأحمال التي تم التصميم عليها .
- ٢ - عدم وجود إعادة توزيع للأحمال لم تكن مأخوذة في الاعتبار عند التصميم - نتيجة فروق ارتفاعات أو تغيير في الاستخدام مثلاً .
- ٣ - أن الاجهاد المفترض أن تتحمله التربة بأمان هو الإجهاد الفعلي المبنى على

دراسة معملية لعينات غير مقلقة أخذت من التربة .

٢ / ٢ / ٣ - ربط الأسباب الرئيسية للتصدع بالأعراض الثلاثة الرئيسية (الخطوة الثالثة) :

إذا تم استبعاد احتمال أن يكون سبب العيوب هو وجود خطأ في التصميم أو التفاصيل الإنشائية ، فالخطوة التالية هي استبعاد أسباب التدهور التي لا علاقة لها بالأعراض التي ظهرت على المنشأ ، وذلك عن طريق ربط أسباب التدهور الرئيسية الاثني عشر - شكل (٢ / ٥) - بأعراض التصدع الثلاثة - الشروخ ، وتساقط الخرسانة ، وتفتت الخرسانة السطحية - كما في جدول (٢ / ٥) - ويظهر من هذا الجدول بأنه في حالة تساقط الخرسانة السطحية فإن هناك أيضاً خمسة احتمالات فقط - بعد استبعاد قصور التصميم والتفاصيل - أما في حالة الشروخ فإن هناك سبعة احتمالات بخلاف أخطاء التصميم وقصور التفاصيل .

٢ / ٢ / ٤ - فحص الاحتمالات الظاهرة (الخطوة الرابعة) :

بعد ربط كل نوع من أنواع الأعراض الثلاثة بالاحتمالات الخاصة بها يمكن البدء بالاحتمالات الظاهرة لتحديد هل هي سبب المشكلة أم يمكن استبعادها ؟

والاحتمالات الظاهرة هي : صدأ الحديد ، المياه السريعة والأمواج ، عوامل البرى .

أ - صدأ الحديد :

وهذا السبب من أسباب التدهور يمكن تحديده بسهولة ، فالغطاء الخرساني يتساقط فتظهر الأسياخ الصدأة في المراحل المتأخرة من الصدأ ، أما في المراحل الأولى فتدهور الخرسانة يبدأ بمجموعة من الشروخ المتوازية والموازية للأسياخ الطولية ، وبعد مدة قصيرة يحدث سطح انفصال بين الخرسانة السطحية والأسياخ الصدأة ، كما تظهر بقع الصدأ البنية على الشروخ وتتساقط الخرسانة السطحية بعد وصول الصدأ إلى مرحلة متأخرة .

ولتأكيد التشخيص على أنه نتيجة صدأ الحديد أو استبعاد هذا الاحتمال - في المراحل الأولى للصدأ - يمكن التحقق من أن موقع واتجاه الشروخ متوافق مع موقع واتجاه أسياخ التسليح ، كما يمكن إزالة الخرسانة السطحية والكشف عن الأسياخ لملاحظة آثار الصدأ ، ويمكن قياس مقاومة الأسياخ كهربياً لتحديد احتمال وجود الصدأ الذي لم يظهر بعد - انظر اختبار خ ١٣ من الباب الثالث .

الحالة الملاحظة لسبب التدهور	أعراض التدهور			الأسباب الرئيسية للتدهور
	التفتت / التآكل	تساقط الخرسانة	الشروخ	
غير فعال			*	١ - طبيعية (انكماش)
فعال		*	*	٢ - صدأ الحديد
فعال	*	*	*	٣ - كيميائية (أحماض / أملاح)
فعال			*	٤ - حرارية (تقلص / تمدد)
غير فعال		*	*	٥ - قصور التصميم
غير فعال		*	*	٦ - قصور التفاصيل
فعال / غير فعال			*	٧ - تحميل زائد
فعال			*	٨ - فروق الهبوط
فعال / غير فعال	*	*	*	٩ - أخطاء التنفيذ
فعال	*	*		١٠ - ظروف محيطية (جوية)
فعال	*	*		١١ - موجات صدمية
فعال	*			١٢ - عوامل البرى والتآكل

جدول (٥ / ٢) ربط الأعراض بأسباب التدهور

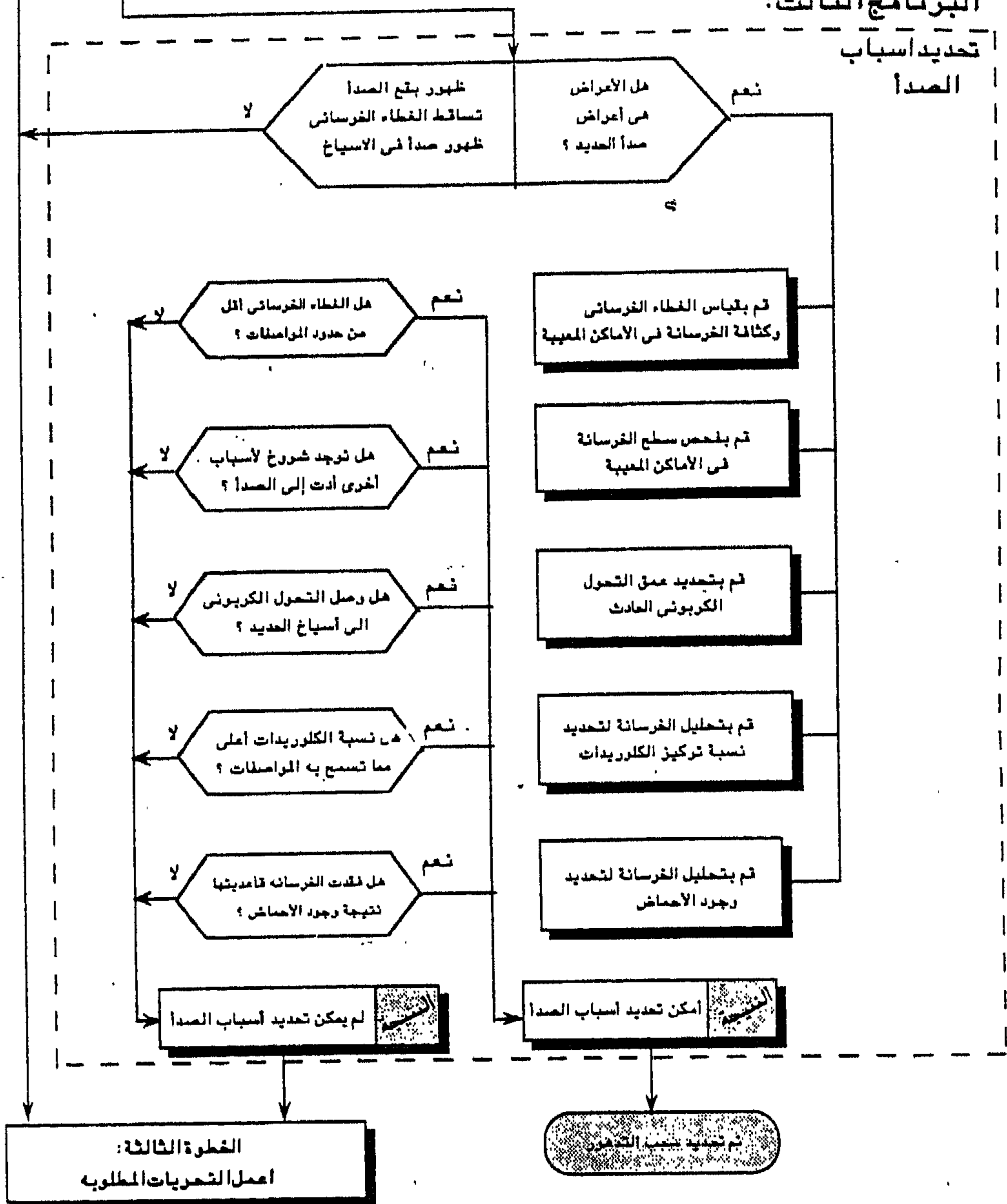
وبعد تحديد أن الصدأ هو السبب الأكثر احتمالاً لحدوث أعراض التصدع الملحوظة ،
يمكن بالفحص المتأنى تحديد أسباب الصدأ لاستكمال التشخيص وذلك على النحو التالى
- شكل (٥ / ٥) - :

١ - القيام بقياس سمك الغطاء الخرساني واختبار كثافة الخرسانة ، فإذا كان الغطاء الخرساني
غير كافٍ كما تحدده المواصفات يكون ذلك هو سبب الصدأ ، واختبار كثافة
الخرسانة يكون بقياس معدل امتصاصها للرطوبة Moisture absorption ، كما يمكن
اختبارها عن طريق الموجات فوق الصوتية - راجع الباب الثالث - وبمقارنة نتائج
الخرسانة المعيبة بنتائج خرسانة جيدة فى نفس ظروف الموقع وفحص الأعضاء المعيبة
للتحقق من عدم وجود فجوات أو تعشيش أو عدم دمك ، يمكن تحديد : هل كثافة
الخرسانة هى سبب الصدأ أم لا ؟

الخطوة الثانية :
إفحص الاسباب الظاهرة مثل الصدا

البرنامج الثالث :

تحديد أسباب
الصدا



شكل (٥ / ٥) رسم تخطيطي لخطوات البرنامج الثالث تحديد أسباب الصدا

٢ - القيام بفحص سطح الخرسانة فى المناطق المعيبة لتحديد احتمال وجود شروخ لأسباب أخرى غير الصدأ - شروخ فى الخرسانة اللدنة مثلاً - هى التى أدت إلى الصدأ ، وهذا السبب يصعب تحديده إلا أن وجود شروخ ليست موازية لصلب التسليح أو قريبة منه ووجود شروخ بدون صدأ يوحى باحتمال أن الصدأ نتيجة لشروخ سببتها عوامل أخرى ، وتنشأ الصعوبة من أن وجود شروخ تؤدي إلى الصدأ يتبعه شروخ جديدة مما يجعل الفصل بين السبب والمسبب صعباً .

٣ - القيام بتحديد عمق التحول الكربونى الحادث - اختبار خ ١٦ - الباب الثالث - فإذا كان التحول الكربونى قد وصل إلى صلب التسليح فهو سبب الصدأ على الأرجح ، وهذا السبب أكثر حدوثاً فى الخرسانة التى تركت بدون بياض فترة طويلة .

٤ - القيام بتحديد نسبة الكلوريدات وذلك بتحليل الخرسانة السطحية كيميائياً ، فإذا كانت نسبتها أكثر من المسموح به - راجع فصل (٢ / ٢ / ٤) من الباب الرابع - فهى سبب الصدأ .

٥ - قم بالتحقق من وجود أحماض أدت إلى الصدأ - ويمكن أولاً التحقق هل سبب الصدأ كيميائى أم كهربى Electrolytic بالكشف على الأسياخ وفحصها ، فإذا كان الصدأ حدث على مسافات قصيرة معزولة أو عند التقاء الأسياخ الطولية بالعرضية فالسبب غالباً كهربى نتيجة وصول الرطوبة إلى الأسياخ ، أما إذا كان الصدأ عاماً فى الأسياخ كلها فى منطقة معينة فالسبب غالباً كيميائى ، والتحليل الكيميائى للخرسانة هو الذى يرجح ذلك ويحدد العنصر الكيميائى أو الحامض المسبب للصدأ .

ب - الموجات الصدمية Shock waves :

ما لم يكن التصدع قد مضى عليه وقت طويل بحيث إن الأعراض تغيرت مع الوقت ، فإن التدهور الناشئ عن الموجات الصدمية (Impact) له شكل مميز ، فقطاعات من الخرسانة تتساقط بحيث تظهر أسياخ التسليح والكانات ، والأسطح المكشوفة تكون لها مظهر الخرسانة التى تم زميرتها - كشفها بالمطرقة والأزميل - ولم تتأثر بالعوامل الجوية ، والأسياخ غير صدأة ، كما أن عمق الخرسانة المتساقطة عادة ما يكون كبيراً وحتى قفص التسليح وليس تساقطاً سطحياً ، والأهم من ذلك أن المنشأ نفسه يكون عرضة للصدمات

مثل رصيف الشحن أو الكوبرى أو أعمدة الجراجات ، بحيث يمكن إرجاع التساقط الناتج لهذا السبب بالذات ، وبالنسبة للمنشآت التى لا تتعرض عادة للصدمات فإن حدوث صدمة عنيفة لدرجة إحداث ضرر واضح بالخرسانة لا بد وأن يكون حدثاً لا يمكن نسيانه بسهولة ، ولا بد أن شاغلى العقار أو المنشأ يتذكرون مثل هذه الصدمة ، وبذلك يمكن تحديد سبب العيب .

جـ - عوامل البرى والتآكل :

إن عيوب البرى والتآكل السطحي تكون على شكل تآكل الطبقة السطحية وظهور الركام لامعاً تحتها وأسبابها تكاد تكون محصورة فى العوامل التى تسبب البرى والتآكل ، وقد ذكرت هذه العوامل فى الباب الرابع وهى :

١ - الاحتكاك مع عجلات المركبات - وذلك بالنسبة لبلاطات الطرق الخرسانية وأرضيات المصانع .

٢ - الرياح المحملة بالرمال - وذلك للخرسانة الظاهرة الخارجية فى المناطق الصحراوية .

٣ - الحبوب المندفعة - وذلك بالنسبة لصوامع الغلال من الخرسانة المسلحة .

٤ - المياه السريعة وخاصة المحتوية على حبيبات - وذلك للمنشآت الساحلية والقناطر والسدود والترع والقنوات الخرسانية .

٥ - الدخان وخاصة المحتوى على رماد - وذلك للمداخن والمواسير من الخرسانة .

فظهر عيوب البرى والتآكل فى المنشآت المذكورة يكون سببه واضحاً ، أما فى حالة عدم وجود سبب ظاهر للبرى فقد تكون الظروف قد تغيرت بحيث أصبح السبب غير ظاهر ، وهذا يستدعى فحص تاريخ المنشأ ومعرفة الظروف التى كان معرضاً لها فى الماضى ما أمكن .

ملخص :

بتلخيص مدى التقدم الذى تم إحرازه فى خطوات التشخيص حتى الآن ، نجد أنه بعد الخطوة الرابعة فإننا نكون قد حددنا سبب التصدع أو استبعدنا خمسة احتمالات (أخطاء التصميم ، قصور التفاصيل ، صدأ الحديد ، الموجات الصدمية ، عوامل البرى والتآكل)

وبذلك يتبقى سبعة احتمالات فقط من القائمة الأصلية لأسباب التدهور (١٢ سبباً) ،
وبالإضافة إلى هذا يمكن الحد من هذه الاحتمالات عند أخذ الأعراض الرئيسية للتصدع
كل على حدة ، فلو كانت الأعراض عبارة عن تفتت وتآكل فلا يتبقى إلا ثلاثة
احتمالات ، وإن كانت تساقطاً للخرسانة فلا يتبقى إلا ثلاثة احتمالات كذلك ، وإن
كانت شروخاً فيتبقى ستة احتمالات .

٤ / ٢ / ٥ - تحليل الأدلة المتوفرة لتحديد أسباب التدهور (الخطوتان الخامسة
والسادسة) :

وهذا هو الجزء الصعب في التشخيص ، ويمثل تحدياً للمهندس المسئول عن الإصلاح ،
ويمكن تقسيم العمل فيه إلى الآتى :

أ - فى حالة التفتت والتآكل السطحي - (شكل ٥ / ٦) - :

الاحتمالات المتبقية هى هجوم الكيماويات أو الظروف الجوية المحيطة القاسية أو
أخطاء التنفيذ ، وأول شئ يمكن أن نبدأ به هو تحليل مواد الخرسانة فى معمل متخصص
ومقارنة النتائج بمواصفات المشروع ، وكذلك فحص مواصفات المواد فى المشروع على
ضوء المعلومات المتاحة عن ظروف الموقع والخبرة المتوفرة عن العمل فى هذه المنطقة :

* فإذا كانت المواد من النوع غير السليم فقد أمكن الوصول إلى نتيجة ومعرفة سبب
التدهور ، والأمثلة على ذلك أن يكون الركام محتويّاً على أملاح ضارة أو سيليكات
نشطة أو أن تكون نسب الأملاح فى الأسمنت أو الماء زائدة عن حدود المواصفات .

* أما إذا كانت المواد مطابقة لمواصفات المشروع ولكنها لا تصل إلى الجودة المطلوبة
فى المواصفات القياسية أو لا تصلح للاستخدام فى منطقة المشروع ، فقد أمكن
تحديد السبب كذلك ، والأمثلة على ذلك : عدم توصيف استخدام أسمنت مقاوم
للكبريتات فى الأساسات - فى حالة وجود كبريتات فى المياه الجوفية - أو عدم
كفاية محتوى الأسمنت فى مواصفات المشروع - أى مقاومة غير كافية للظروف
المحيطة .

أما إذا كانت المواد غير معيبة والمواصفات سليمة فقد استبعدنا أخطاء التنفيذ ويبقى
احتملان ، والخطوة التالية هى تحديد أيهما سبب التدهور ، ولذا فالخطوة التالية هى فحص
الظروف الجوية المحيطة ، فإذا كانت الأجزاء المعيبة غير معرضة لدورات التجمد والذوبان

- مناطق غير باردة أو وجودها في محيط دافئ نسبياً داخل المنشأ مثلاً - وإذا كانت غير معرضة لدورات من البلل والجفاف بمجرد صبتها أو لدورات من الغمر بالماء (saturation) في الأجواء الباردة ، وإذا كانت غير معرضة للرياح الشديدة المحملة بالرمال - في المناطق الصحراوية - فيمكن استبعاد احتمال أن تكون الظروف الجوية المحيطة هي سبب المشكلة .

ولبحث احتمال حدوث هجوم الكيماويات على الأعضاء المعيبة يمكن فحص مدى تغلغل التفتت في عجينة الأسمنت داخل الكتلة الخرسانية ، فإذا كان هذا التغلغل عميقاً فغالباً سببه هجوم كيميائي ، أما إذا كان التفتت سطحياً - لعمق ٢ إلى ٥ سم - فغالباً سببه ظروف جوية قاسية ، ويمكن كذلك فحص الظواهر المصاحبة لهجوم الكيماويات مثل حدوث انفصال بين الركام والعجينة ، وظهور بعض نواتج التفاعل الكيميائي الجيلاتينية ، ولكن الذي يؤكد حدوث هجوم للكيماويات هو عمل تحليل كيميائي للخرسانة في الأجزاء المعيبة وفي أجزاء سليمة ولكن من نفس الصبة ما أمكن ، فإذا تغيرت نسب المواد أو ظهرت مواد جديدة أو اختفت بعض المواد الأصلية من الخلطة أو نقصت بشدة ، فإن احتمال حدوث تفاعل كيميائي يكون كبيراً ، ويمكن الاستدلال على طبيعة هذه التفاعل من نوعية المواد التي اختفت أو نقصت أو ظهرت بعد التفاعل .

ب - في حالة وجود شواهد على حدوث انتفاخ في الخرسانة :

وفي حالة وجود شواهد تدل على الانتفاخ يمكن حصر الاحتمالات في ثلاثة احتمالات : تفاعل كيميائي أو امتصاص الرطوبة أو ارتفاع في درجة حرارة الكتلة الخرسانية ، ويمكن استبعاد الاحتمال الثاني وهو امتصاص الرطوبة إذا لم تكن هناك أدلة على وجود مياه كافية لغمر الأعضاء المعيبة ، ومحاولة قياس درجة حرارة قلب الكتلة الخرسانية يفيد في استبعاد أو ترجيح الاحتمال الثالث ، أما ترجيح الاحتمال الأول فيكون بعمل تحليل كيميائي لمكونات الخرسانة كما سبق ذكره في الفصل السابق ، أو في حالة وجود شروخ شبكية pattern cracking مصاحبة لانتفاخ الخرسانة ، أو وجود شواهد للمواد الجيلاتينية المنتفخة - نواتج التفاعل .

ج - في حالة تساقط الخرسانة السطحية - شكل (٧ / ٥) - :

بعد استبعاد احتمال الصدأ واحتمال وجود أخطاء في التصميم - قطاع خرساني غير

كافٍ - فإن التساقط إذا كان محصوراً في أماكن بعينها فلاحتمال الأكبر أن يكون سببه عيوباً في التفاصيل الإنشائية مثل تلك المبينة في شكل (٤ / ٥٠) بالباب الرابع ، ويمكن فحص التفاصيل الإنشائية في منطقة التساقط لاستبعاد أو ترجيح هذا الاحتمال ، وهناك احتمال آخر وهو حدوث تفاعل كيميائي عند المنطقة المعيبة مثل تفاعل الركام والسليكا ، ويرجح هذا الاحتمال أن يكون التساقط على هيئة قطع صغيرة متناثرة pop-outs انظر شكل (٥ / ٢١) .

أما إذا كان التساقط عاماً وغير محصور في منطقة بعينها ، فالأرجح أن يكون سببه هو الصدأ ، ولابد من الرجوع مرة ثانية للتحقق من هذا الاحتمال ولو استدعى الأمر قياس التيار الكهربائي في الأسياخ ، فإذا ثبت أنه ليس سبب التساقط فلاحتمالات المطلوب بحثها هو تأثير الظروف الجوية المحيطة من ناحية التعرض لدورات التجمد والذوبان أو امتصاص الرطوبة أو احتمال استخدام مواد معيبة أو أخطاء في التنفيذ سببت سطح انفصال أو احتمال حدوث هجوم كيميائي ، وقد سبق التعرض لكيفية استبعاد أو ترجيح أحد هذه الاحتمالات في الجزء الخاص بالتفتت والتآكل السطحي .

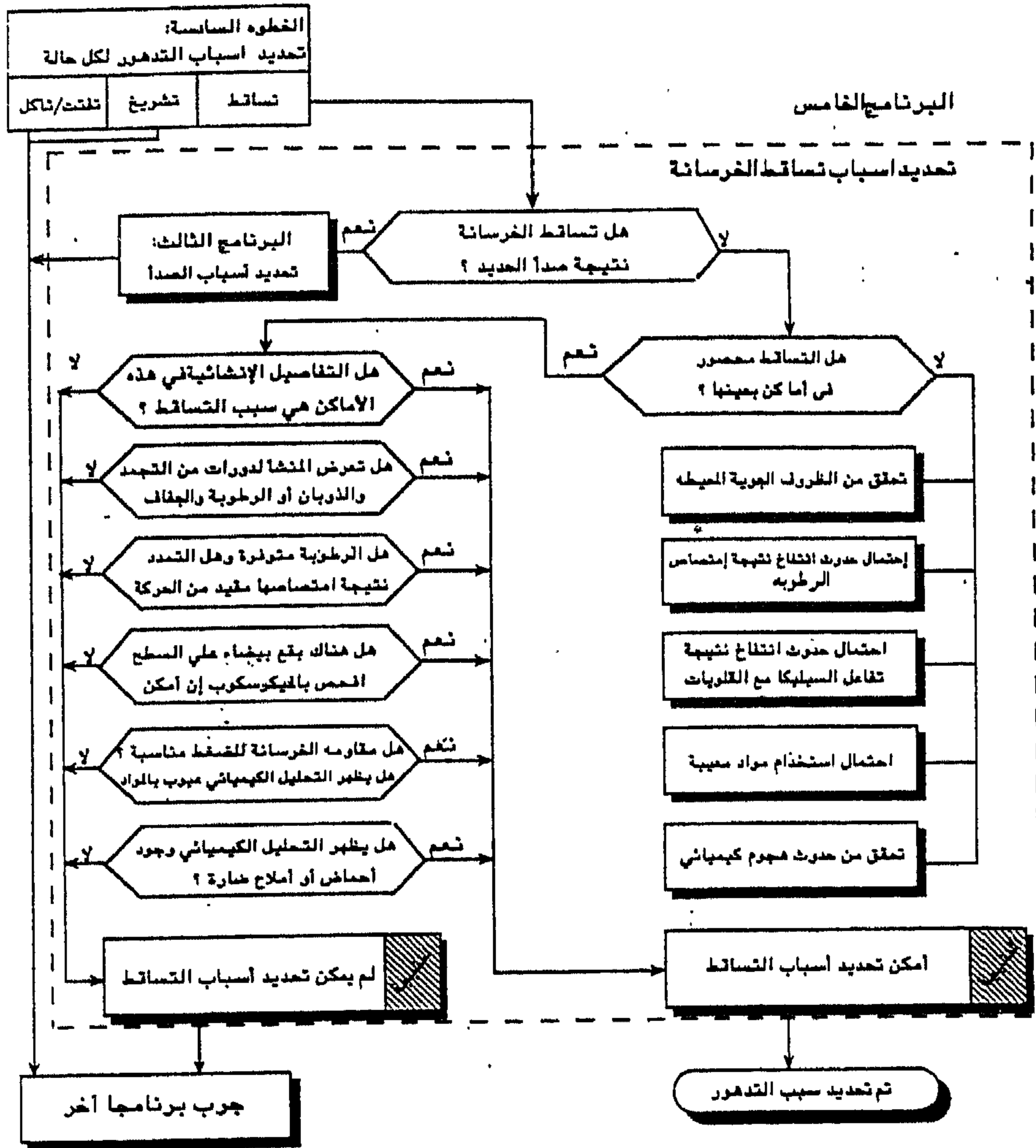
د - في حالة الشروخ :

بعد استبعاد احتمالات صدأ الحديد وأخطاء التصميم وقصور التفاصيل يتبقى ستة احتمالات لسبب حدوث الشروخ - راجع جدول (٥ / ٢) - وهي إما أسباب طبيعية ، أو كيميائية ، أو حرارية ، أو تحميل زائد ، أو فروق هبوط ، أو أخطاء في التنفيذ ، وهي احتمالات متعددة لأن كلا منها عبارة عن عدة احتمالات - راجع شكل (٤ / ١) في الباب الرابع .

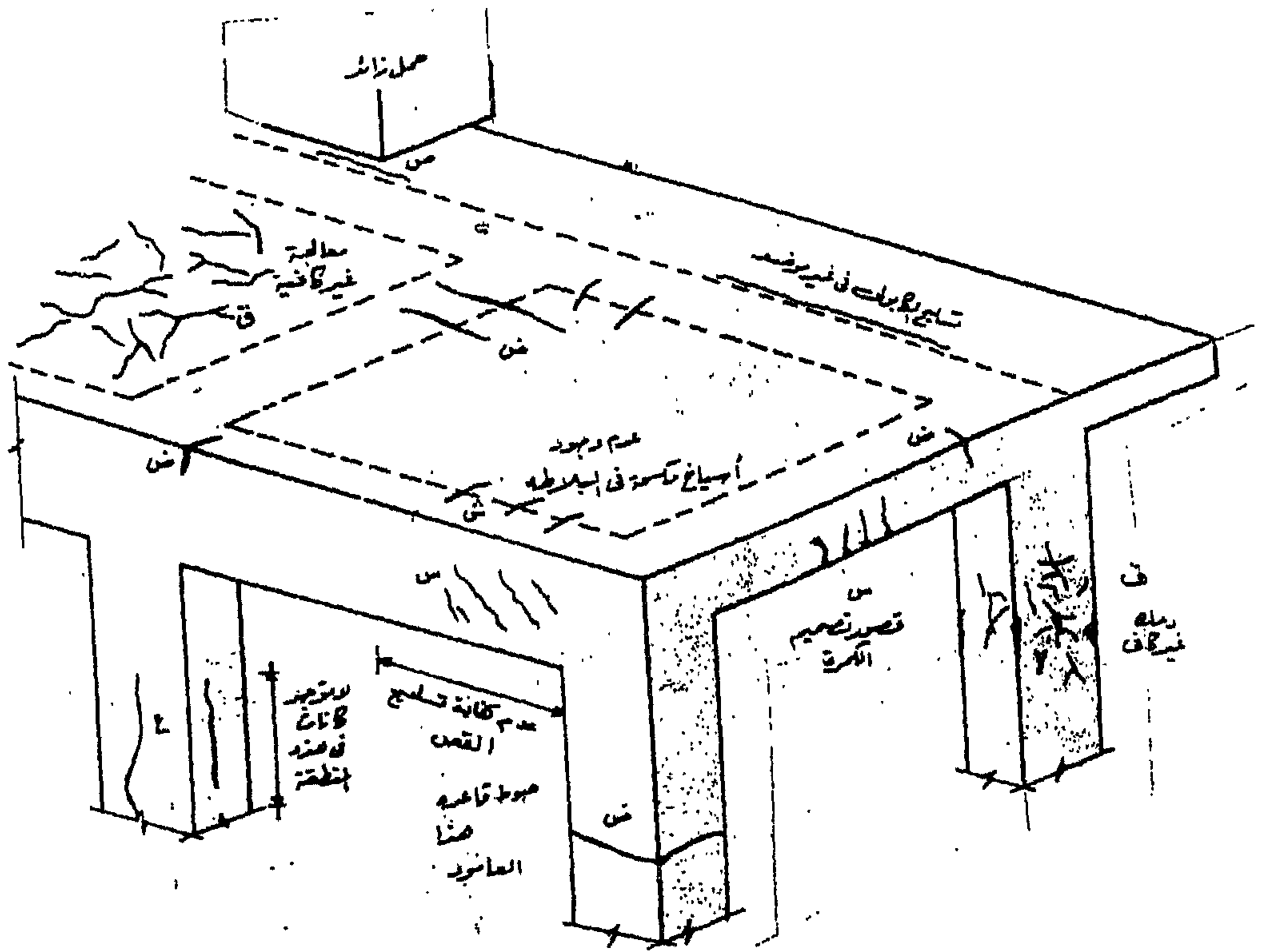
ولذا يتعين على القائم بالتشخيص تصنيف الشروخ ، ويتم ذلك إما بوقت حدوث الشرخ أو مكانه أو شكله .

٢ / ٢ / ٦ - تصنيف الشروخ :

ويمكن تصنيف الشروخ بوجه عام إلى شروخ إنشائية وشروخ غير إنشائية ، والشروخ غير الإنشائية يمكن تصنيفها حسب وقت ومكان الظهور ، كما هو موضح في جدول (٥ / ٣) وأشكالها مبينة في المبنى التخلي الموضح في شكل (٥ / ٨)^(٥) ، أما الشروخ الإنشائية فمصنفة في جدول (٥ / ٤) ، وأشكالها مبينة في شكل (٥ / ٩) .



شكل (٥ / ٧) رسم تخطيطي لخطوات البرنامج الخامس
تحديد أسباب تساقط الخرسانة



شكل (٩ / ٥) أمثلة للشروخ الإنشائية (الرموز في جدول ٥ / ٥)

التهشقات ممنم	التهشقات ممنم	التهشقات ممنم	التهشقات ممنم	التهشقات ممنم	التهشقات ممنم	التهشقات ممنم	التهشقات ممنم
انكماش الحرسانة وهى لدنة	أ ب ج	مائلة (قطرية) عشوائية	الغرق والبلاطات الأرضية بلاطات خرسانية سلحة	جفاف سريع مبكر	معدل التزف منخفض	العناية والاهتمام بالمعالجة المبكرة	لمزيد من الضاحيل انظر الفقرة
هبوط الحرسانة وهى لدنة	د هـ و	فوق التصليح مقوسة (عقدية)	القطاعات العميقة أعلا الأعمدة بلاطات ذات أعصاب	جفاف مبكر وسريع	تقليل التزف أو إعادة الدمك	تقليل الحرارة المتولدة من الإماعة أو استعمال العزل	من ٣٠ دقيقة إلى ٦ ساعات
تقلص حرارى مبكر	ز ح	بسبب الإعاقة الخارجية للحركة بسبب الإعاقة الداخلية للحركة	حوائط سميكة بلاطات سميكة	تولد حرارة إماعة زائدة فرق كبير فى درجة الحرارة بين السطح والداخل	برودة سريعة	تقليل الحرارة المتولدة من الإماعة أو استعمال العزل	من يوم إلى أسبوعين أو ثلاثة
انكماش ناجى من الجفاف	ط	-	بلاطات وحوائط رفيعة	فواصل غير فعالة	انكماش زائد بالأسمنت ومعالجة سيرة	تقليل كمية الماء فى الخلطة والعناية	بعد عدة أسابيع أو شهور
شروخ سرطانية (Grazing)	ى ك	ملاسة للشدة خرسانة مصقولة بالملاسة (المطرين)	خرسانة ذات سطح ناعم بلاطات	شدة غير منفذة للماء صفل زائد بالملاسة	خلطة غنية بالأسمنت ومعالجة سيرة	العناية بالمعالجة والإنهاء (التشطيب)	من يوم إلى سبعة أيام أحياناً أكثر بكثير
تآكل صلب التصليح (الصدأ)	ل م	طبيعى كلوريد كالكسيوم	أعمدة وجسور خرسانة الوحدات المجاهزة	الغطاء الحرسانى أقل من المطلوب كلوريد كالكسيوم زائد	خرسانة ذات نوعية سيرة	تفادى الأسباب	بعد أكثر من سنتين
تفاعل قلوى مع الركام	ن	-	مواقع ذات رطوبة عالية	ركام متفاعل يحتوى على من المواد	وأسمت سيرة عالية انقلوية	تفادى الأسباب	بعد أكثر من سنوات
هجوم الكبريتات	ت	-	الأساسات	مياه بها تركيز عال من الكبريتات	غطاء خرسانى غير كاف وخرسانة ضعيفة	غطاء كاف بخرسانة كثيفة	أكثر من سنتين

• بدون القيد على الحركة .

جدول (٣ / ٥) تصنيف الشروخ حسب زمن ومكان

ظهورها (٥) - راجع شكل (٨ / ٥)

سبب التشريح	الحرف (انظر شكل (٣/٥)	التقسيم الفرعى	مكان الحدوث الأكثر احتمالا	السبب الرئيسى	أسباب ثانوية
قصور التصميم	س	الأبعاد	بطنية الكمرات جوانب الكمرات	إجهادات شد مرتفعة	خرسانة ضعيفة
	ش	التفاصيل الإنشائية	حروف البلاطات	حديد غير كاف	-
التحميل الزائد	ص	استعمال العضو فى غير الغرض منه	الكوابيل والكمرات	إجهادات زائدة	أحمال زائدة أثناء التنفيذ
فروق الهبوط	ض	مبوط الركيزة	اتصال البلاطات بالكمرات واتصال الكمرات بالأعمدة	تصميم أساسات	عدم وجود بواكى بسيطة الارتكاز
أخطاء التنفيذ	ع	رص الحديد	الأعمدة وحروف البلاطات	عدم اتباع المواصفات	إشراف ضعيف
	ف	صب الخرسانة	الأعمدة والكمرات العميقة	خلطات جافة جداً دمك غير كاف	زمن غير كاف
	ق	المعالجة	البلاطات	معالجة غير كافية أو متأخرة	دورات من البلل والجفاف

جدول (٤/٥) تصنيف الشروخ الإنشائية حسب مكان

ظهورها - راجع شكل (٩/٥)

وهذا التصنيف يساعد على تحديد أسباب الشروخ فى المنشآت الخرسانية المختلفة كما يظهر من التحليل التالى - يراجع الجزء الخاص بأسباب حدوث الشروخ فى الباب الرابع .

أ - شروخ بلاطات الطرق والأرضيات - شكل (١٠ / ٥) - :

إذا كانت الشروخ طولية فهناك احتمالان لسبب حدوثها : إذا لوحظ هبوط بالبلاطة نتيجة هبوط الأرض تحتها فالسبب هو هبوط الركيزة قبل تصلب الخرسانة ، أما إذا لم يكن هناك هبوط ولكن الشروخ تأخذ شكل أسياخ التسليح العلوى القريبة من السطح فالهبوط اللدن هو سبب الشروخ - شكل (٤ / ٤ / أ) .

وفى المناطق الباردة فإن تكوّن الشروخ العشوائية على سطح البلاطة يوحى بالاحتمالات الآتية :

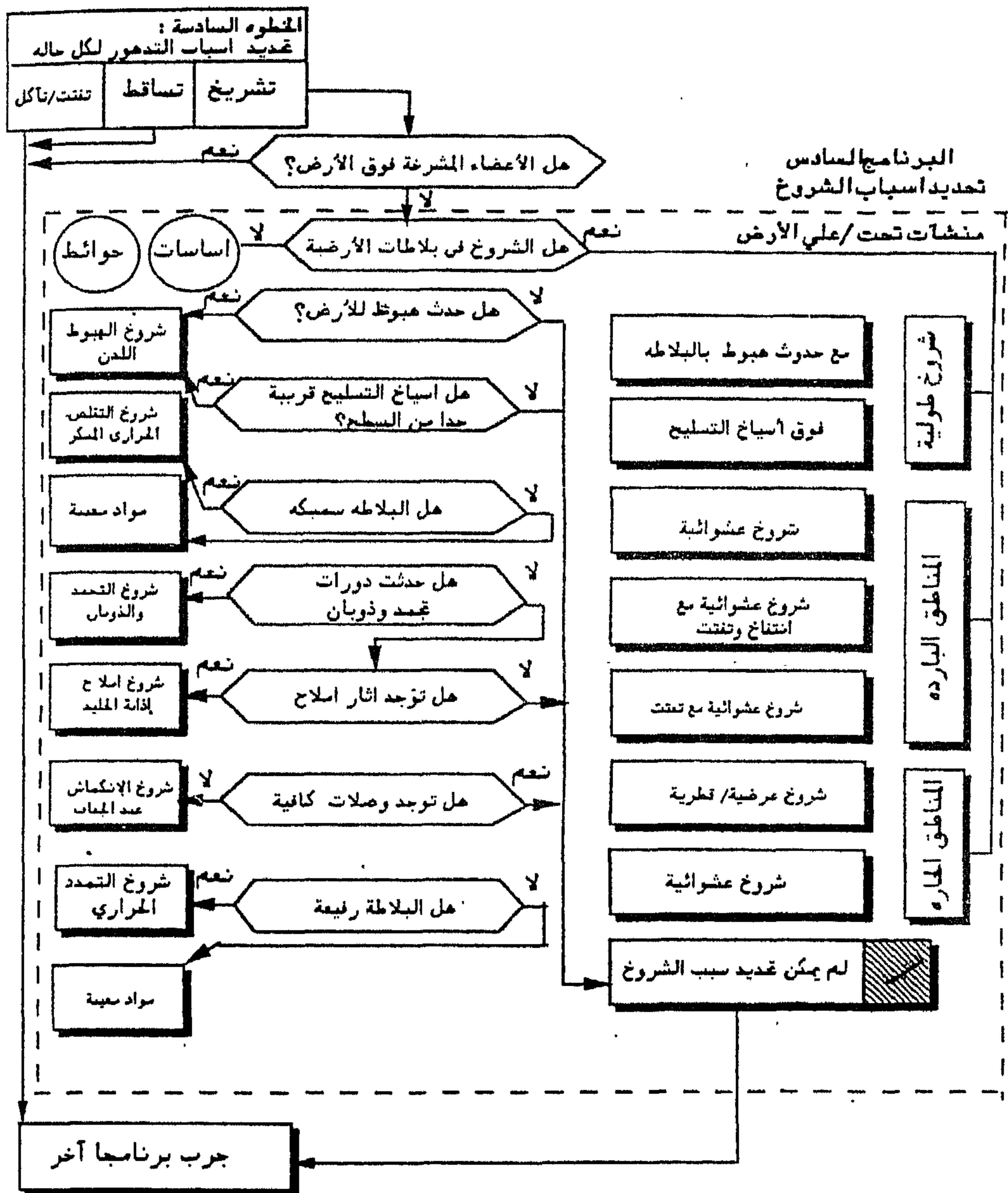
* إذا كانت البلاطة سميكة فغالباً السبب هو التقلص الحرارى المبكر ، أما إذا لم تكن البلاطة سميكة فيمكن بحث احتمال استخدام مواد معينة فى الخلطة الخرسانية .

* إذا كانت الشروخ مصحوبة بانتفاخ وتفتت للخرسانة السطحية ، فيمكن التحقق من حدوث دورات التجمد والذوبان التى غالباً ما تكون هى السبب ، أما إذا لم يكن ذلك هو السبب فيمكن بحث احتمال أن تكون أملاح إذابة جليد الطرق هى السبب ، بالتحقق من وجود آثار أملاح على السطح أو بالشروخ :

وفى المناطق الحارة تختلف أسباب شروخ بلاطات الطرق عن المناطق الباردة ، فهى إما شروخ انكماش أو شروخ حرارية ، وشروخ الانكماش اللدن تكون فى بلاطات الطرق على شكل شروخ مائلة ٤٥° على حروف البلاطة (قطرية) وشروخ الانكماش نتيجة الجفاف بسبب عدم وجود وصلات كافية تكون عرضية وعلى مسافات متكررة ، أما شروخ التمدد الحرارى فتظهر فى البلاطات الرفيعة وتكون ذات شكل عشوائى .

ب - شروخ الحوائط الساندة وحوائط الخزانات - شكل (١١ / ٥) :

وهى إما شروخ رأسية مصاحبة بتساقط فى الخرسانة فغالباً ما تكون نتيجة صدأ الحديد الرئيسى ، ولا بد من معاودة بحث هذا الاحتمال ، أما إذا لم تكن هناك آثار للصدأ وكان اتساع الشرخ بأعلى الحائط أكبر من اتساعه من أسفل فغالباً ما يكون الهبوط المقعر Hog-ging للأرض هو السبب ، أما الشروخ العشوائية على السطح الملاصق للتربة فإذا كانت مصاحبه بتآكل سطحي فهى غالباً ما تكون بسبب هجوم الكبريتات أو الأملاح الضارة



شكل (١٠/٥) رسم تخطيطي لخطوات البرنامج السادس
تحديد أسباب الشروخ في بلاطات الأرضية

الموجودة بالمياه الجوفية .

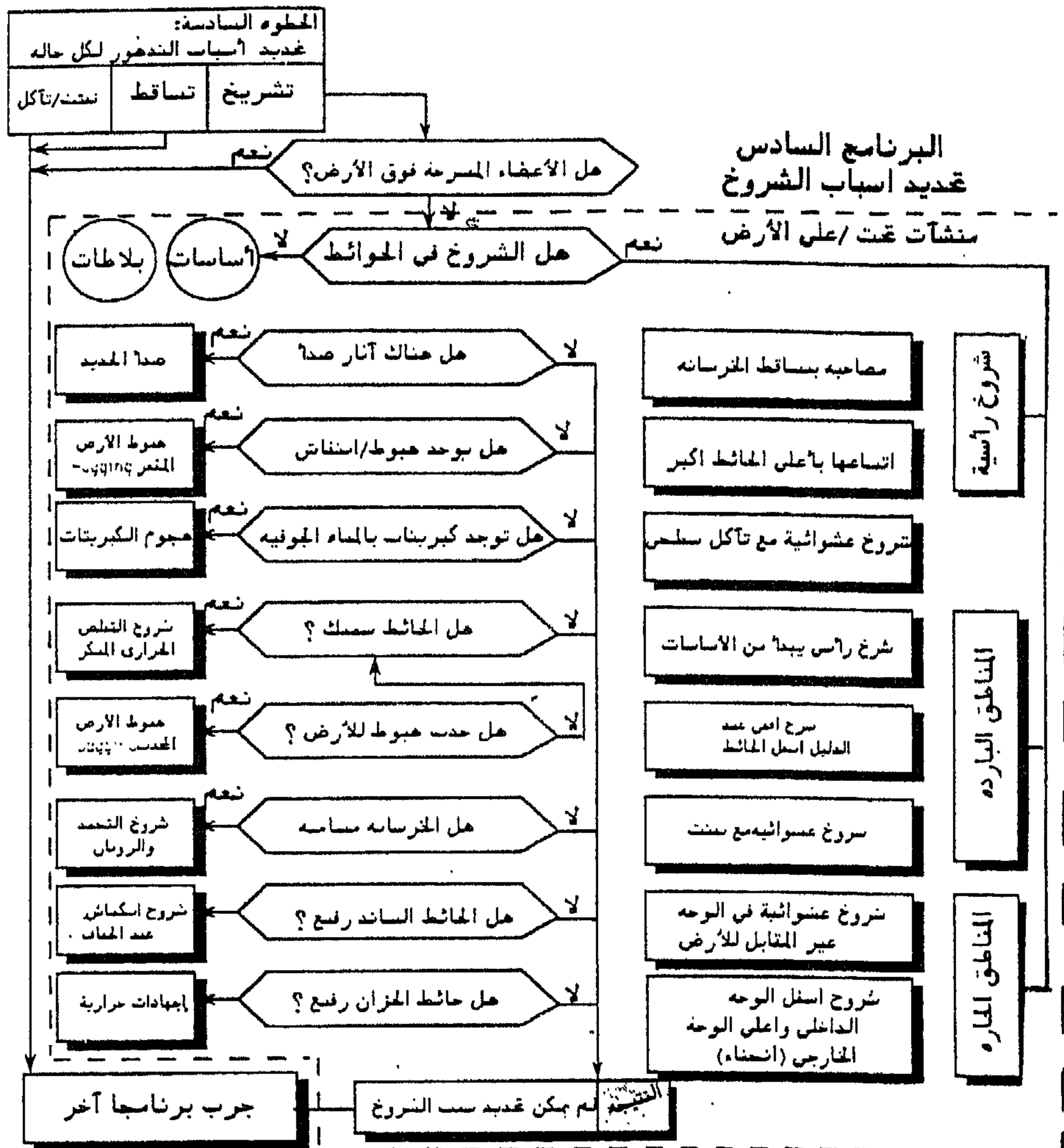
وفي المناطق الباردة إذا كان الحائط سميكا ، فيمكن أن يسبب التقلص الحرارى المبكر شروخاً رأسية ، ويمكن تمييزها عن غيرها من أنواع الشروخ بأنها تبدأ من الأساسات وتنتهى قبل الجزء العلوى من الحائط ، وقد يسبب التقلص الحرارى شروخاً أفقية عند الدليل kicker (اتصال الحائط بالأرضية) فى الحوائط السميكة وقد يكون سبب الشروخ الأفقية هبوطاً محدباً Sagging للأرضية وفى هذه الحالة تظهر آثار الهبوط على استواء الأرضية ، أما إذا كانت الشروخ عشوائية مصاحبة بتفتت سطحى فقد تكون دورات التجمد والذوبان هى السبب إذا كانت الخرسانة مسامية وغير مدموكة جيداً - يمكن معرفة ذلك بملاحظة وجود نشع وبقع ماء فى حالة حوائط الخزانات .

أما المناطق الحارة فالانكماش والحرارة غالباً هما سبب الشروخ ، ويحدث الانكماش للحوائط الرفيعة فتظهر شروخ عشوائية فى أوجه الحوائط الساندة الغير المقابلة للأرض ، وتحدث إجهادات التمدد الحرارى لحوائط الخزانات فى شكل شروخ انحناء - أسفل الوجه الداخلى وأعلى الوجه الخارجى - نتيجة فرق درجات حرارة السطح الخارجى المعرض للشمس عن السطح الداخلى المعرض للماء - شكل (٤ / ٤٧) بالباب الرابع .

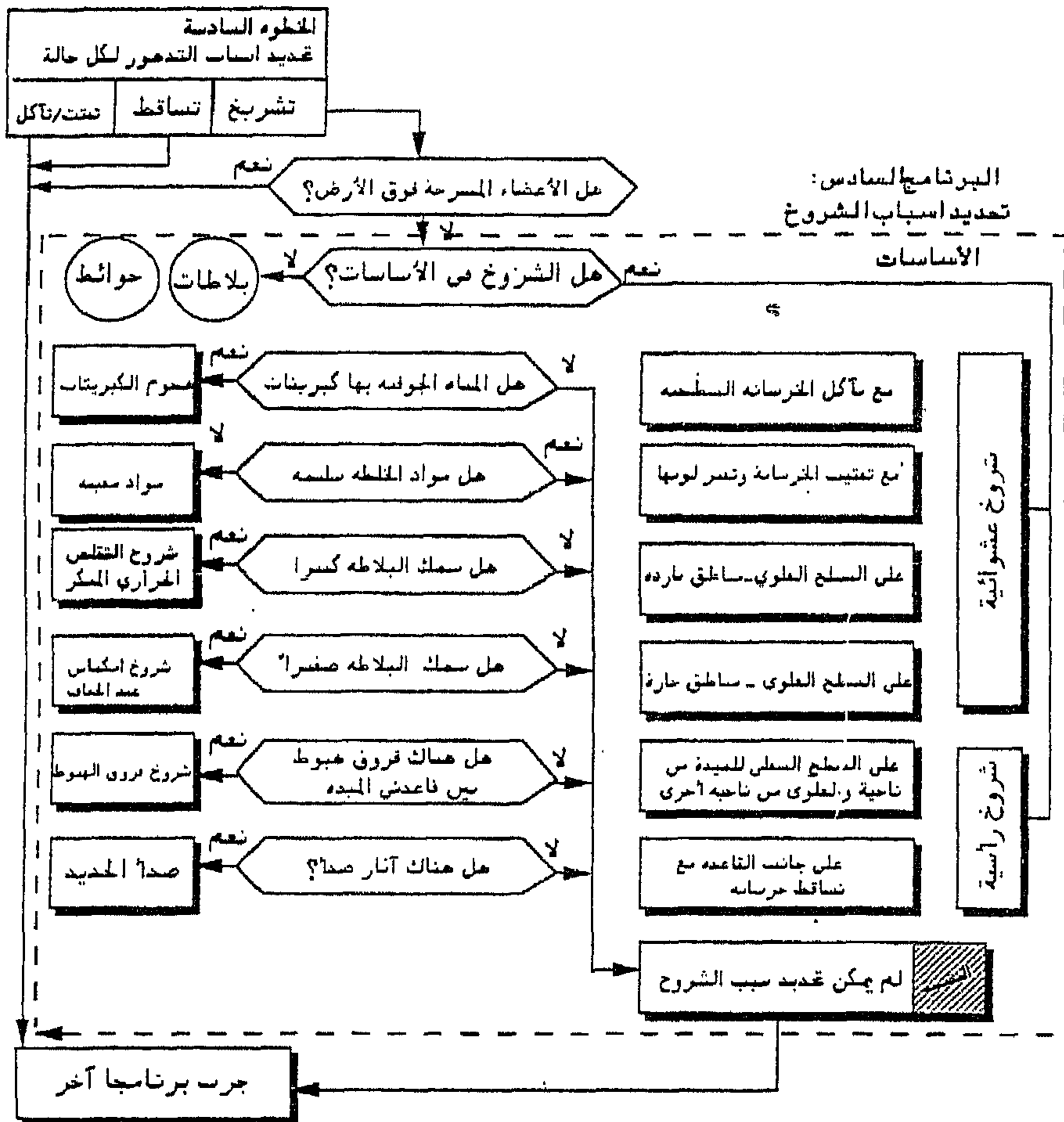
جـ - شروخ الأساسات - شكل (٥ / ١٢) - :

وهى إما شروخ عشوائية أو شروخ رأسية ، فالشروخ العشوائية إذا كانت مصاحبة بتآكل سطحى فغالباً السبب هو هجوم الكبريتات الموجودة فى المياه الجوفية ، ولكن فى حالة عدم وجود كبريتات فإن تغير لون الخرسانة المتصدعة يوحى بأن هناك مواداً معيبة فى الخلطة ، أو أن نسبة الأسمنت أقل مما يجب ، وتحدث شروخ عشوائية على السطح العلوى للبلاطات السميكة فى المناطق الباردة نتيجة التقلص الحرارى المبكر ، أما فى المناطق الحارة فالشروخ العشوائية على السطح تظهر على البلاطات الرفيعة نتيجة الانكماش المصاحب للجفاف إذا كانت المعالجة بعد الصب غير كافية .

والشروخ الرأسية فى الميدات يكون سببها فرق الهبوط إذا كانت تبدأ من السطح السفلى للميدة فى ناحية وعلى السطح العلوى فى الناحية المقابلة ، أما الشروخ الرأسية فى جوانب القواعد الخرسانية فغالباً ما تكون نتيجة صدأ أرجل حديد تسليح القاعدة .



شكل (١١/٥) رسم تخطيطي لخطوات البرنامج السادس
تحديد أسباب الشروخ في الحوائط الساندة وحوائط الخزانات



شكل (١٢/٥) رسم تخطيطي لخطوات البرنامج السادس
تحديد أسباب الشروخ في الأساسات

د - شروخ البلاطات والأسقف - شكل (١٣ / ٥) - :

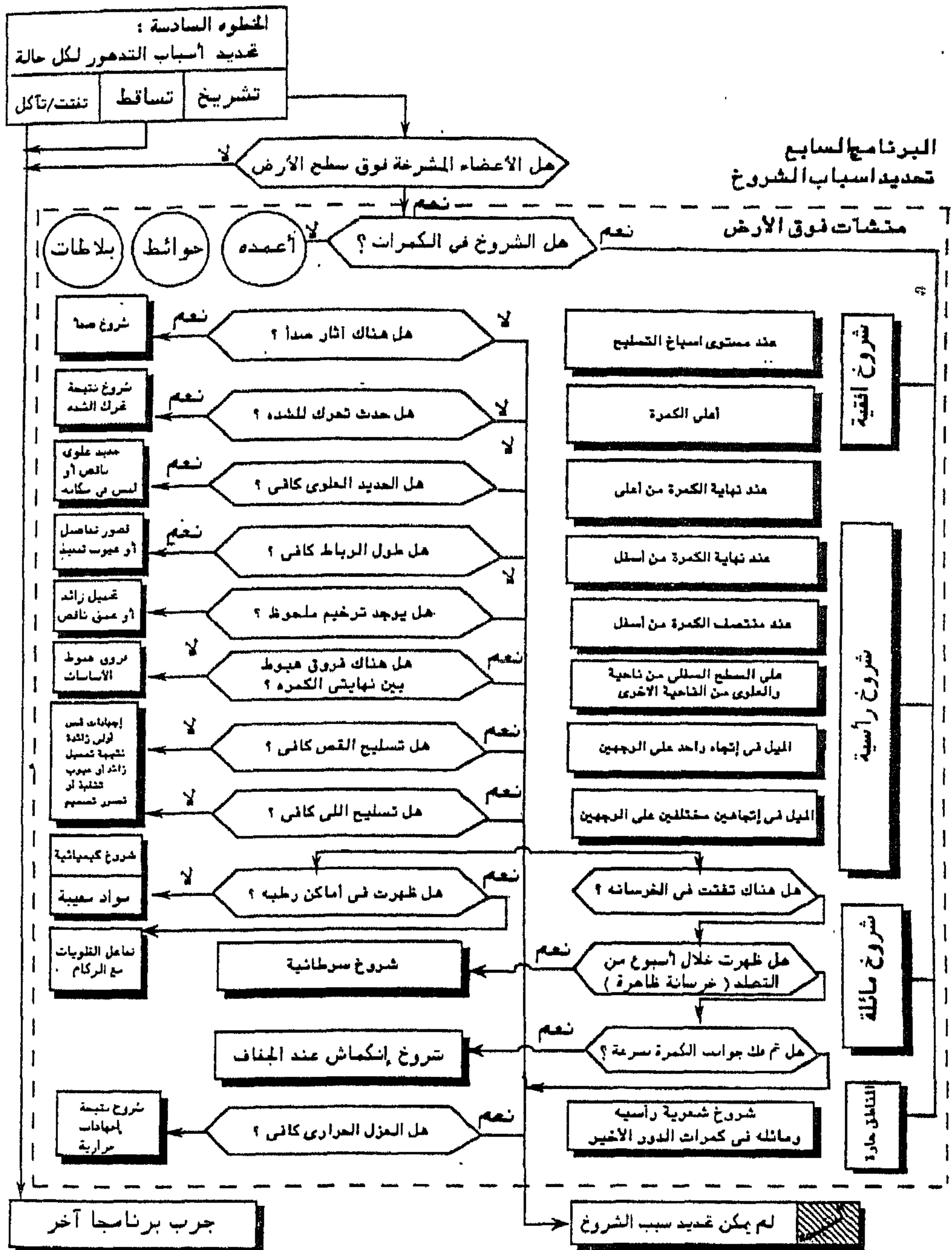
ويمكن تقسيمها إلى شروخ تظهر على السطح السفلى للبلاطة ، وأخرى تظهر على السطح العلوى ، فإذا كانت الشروخ على السطح السفلى وتأخذ شكل أسياخ الحديد - شروخ فى اتجاه واحد أو اتجاهين ومتوازية - فلا بد من دراسة احتمال أن يكون الصداً هو سببها ، أما إذا كانت طولية وفى منتصف البحر مع وجود ترخيم ملحوظ ، فالسبب يمكن أن يكون نقص سمك البلاطة عن السمك التصميمى أو حدوث تحميل زائد ، والشروخ الطولية عند الكمرات والموازية لها غالباً ما تكون بسبب إجهادات التماسك ، حيث تكون أطوال الرباط لأسياخ التسليح غير كافية .

أما الشروخ التى تظهر على السطح العلوى فهى قد تكون عند الكمرات وموازية لها ، وذلك يدل على عدم كفاية الحديد العلوى سواء لقصور فى التصميم أو فى التنفيذ ، وقد تكون عشوائية نتيجة دورات التجمد والذوبان فى الأجواء الباردة ، وإذا كانت مصاحبة بتفتت سطحى غائر وفى الأماكن الرطبة فتفاعل القلوبات مع الركام المحتوى على سيليكات نشطة يصبح سبباً مرجحاً ، أما إذا كانت فى أماكن جافة فتفحص آثار التفاعلات الكيميائية فإن وجدت عرف السبب ، وإن لم توجد آثار يتم تحليل الخرسانة بحثاً عن المواد المعيبة أو عن تغير فى تركيبة الخلطة ليتم تحديد السبب ، وإذا ظهرت شروخ السطح العلوى مبكراً - خلال أسبوع من تصلد البلاطة - فقد تكون شروخاً سرطانية نتيجة النهو الزائد ، وإذا لم تظهر مبكراً وكان الجو حاراً والبلاطة رفيعة ، فلا بد من دراسة احتمال أن يكون الانكماش نتيجة الجفاف هو سبب الشروخ ، وتراجع طريقة المعالجة المتبعة لتأكيد أو نفي هذا الاحتمال .

وفى المناطق الحارة بالذات تحدث الشروخ الطولية بالسطح العلوى للبلاطة عندما تكون ممنوعة من الحركة نتيجة الانكماش ، كما تحدث شروخاً شعرية فى الأسطح الأخيرة إذا لم تكن معزولة حرارياً نتيجة التمدد والانكماش الممنوع من الحركة .

هـ - شروخ الكمرات - شكل (١٤ / ٥) - :

ويحدد السبب حسب اتجاه وميل الشرخ ، فالشروخ الأفقية أسفل جانب الكمرة وفى بطنيتها - عند مستوى أسياخ التسليح - تكون غالباً نتيجة الصداً ، أما الشروخ الأفقية بالسطح العلوى للكمرة فقد تكون نتيجة صداً الحديد العلوى وقد تكون نتيجة تحرك



شكل (١٤/٥) رسم تخطيطي لخطوات البرنامج السابع
تحديد أسباب الشروخ في الكمرات

الشده - شكل (٧ / ٤) .

والشروخ الرأسية عند نهاية بحر الكمرة مكانها إما بأعلى الكمرة وغالباً ما تكون بسبب نقص الحديد العلوى ، أو سقوطه أثناء التنفيذ ، وإما بأسفل الكمرة منتصفها وتبدأ من أسفل ، فإذا كانت مصحوبة بترخيم ملحوظ فسيبها نقص القطاع الخرساني - والتحميل الزائد - وإذا لم يوجد ترخيم زائد فالسبب قد يكون نقص التسليح الرئيسى السفلى ، وإذا كانت الشروخ الرأسية تبدأ من السطح السفلى فى إحدى نهايتى الكمرة ومن السطح العلوى فى النهاية الأخرى فلا بد أن هناك فرق هبوط قد حدث بين ركيزتى الكمرة .

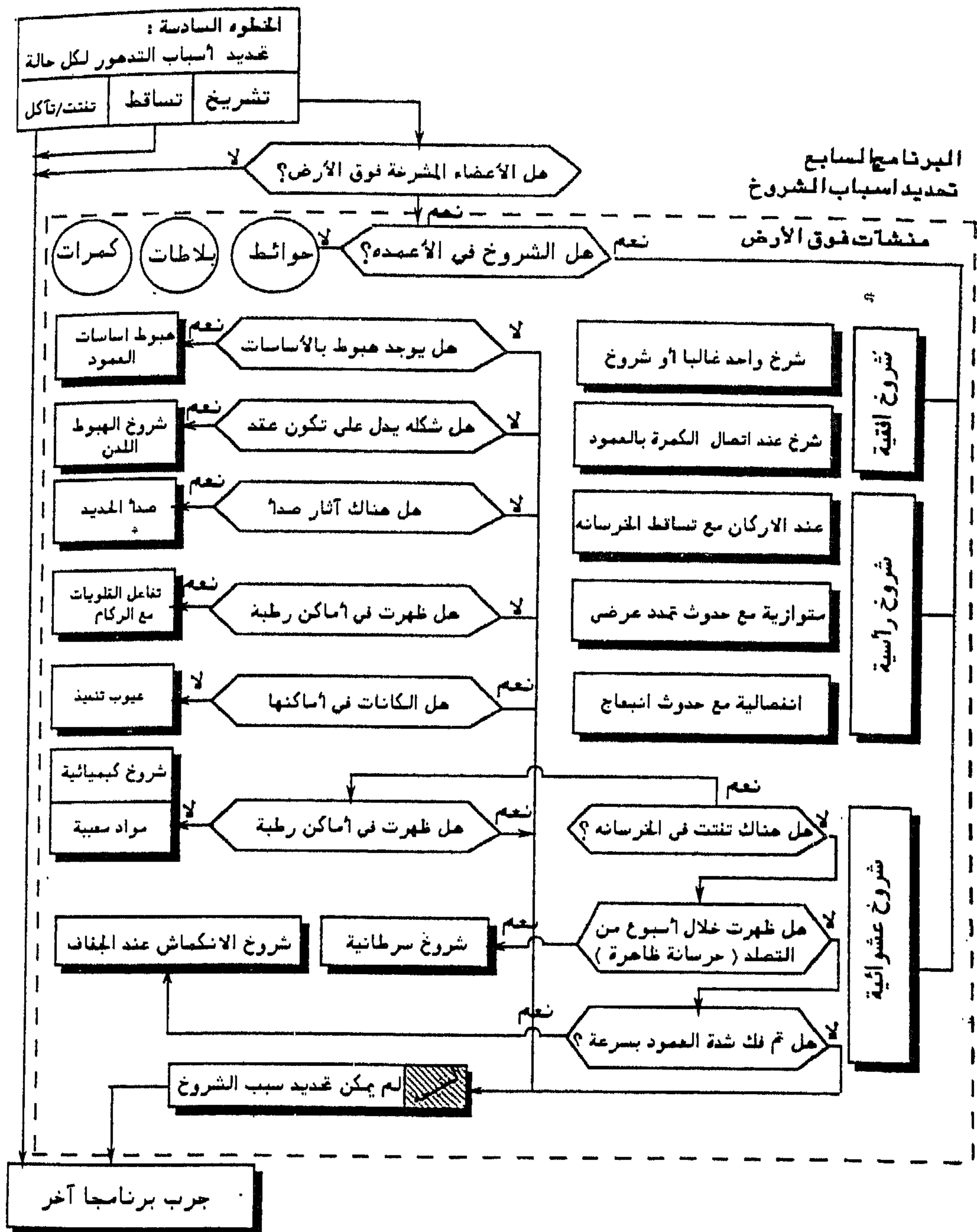
والشروخ المائلة قد تكون شروخ قص أو لى ، والتفرقة بينهما ممكنة حسب اتجاه ميل الشروخ ، فالشروخ الناشئة عن نقص تسليح القص أو إجهادات القص الزائدة تكون ذات ميل فى اتجاه واحد على الوجهين وقرية من الركيزة ، أما الشروخ الناشئة عن نقص تسليح اللى ، فتكون ذات ميل مختلف على كل من وجهى الكمرة عند نفس الركيزة .

أما الشروخ العشوائية على الوجه الجانبى للكمرة فإذا كانت مصحوبة بتفتت غائر وموجودة فى الأماكن الرطبة فقد يكون سببها تفاعل الركام مع القلويات ، أما إذا لم توجد رطوبة فقد تكون بسبب تفاعلات كيميائية أو مواد معيبة ، وتحليل الخرسانة كيميائياً يحدد السبب بدقة ، ولكن إذا كانت شروخاً سرطانية نتيجة استعمال شدة غير منقذة للماء فهى تظهر فى خلال أسبوع من التصلد ، أما إذا ظهرت الشروخ العشوائية بعد ذلك فقد تكون سرعة فك جوانب الكمرة مع قصور المعالجة نتج عنهما انكماش كبير - وخاصة فى الجو الحار - مما أدى إلى الشروخ ، وفى كمرات الأدوار الأخيرة فى المناطق الحارة تؤدى الإجهادات الحرارية إلى شروخ رأسية ومائلة بسبب عدم كفاية العزل الحرارى .

و - شروخ الأعمدة - شكل (١٥ / ٥) - :

الشرخ الأفقى فى العמוד خطير ويدل على هبوط فى الأساسات تحت العמוד ، أما الشرخ الأفقى على شكل عقد فهو أقل خطورة ، وسببه الهبوط اللدن مع جفاف الخرسانة المستعملة ، مما أدى إلى هذا الشرخ - شكل (٤ / ٤) - بالبواب الرابع - وهو عادة ما يكون عند اتصال الكمرة بالعمود .

والشروخ الرأسية يحدد سبب مكانها ، فإذا كانت فى الأركان مع تساقط السوكة - زاوية حافة العמוד - فغالباً سببها صدى الصلب ، وإذا كانت متوازية مع حدوث



شكل (١٥/٥) رسم تخطيطي لخطوات البرنامج السابع
تحديد أسباب الشروخ في الأعمدة

تمدد عرضى وتوفر الرطوبة فقد يكون تفاعل القلويات مع الركام هو السبب ، وإذا كانت انفصالية مع ملاحظة انبعاج فى العامود فيجب البحث عن الكائنات فى منطقة الشروخ ، فإن كانت متباعدة عما حددته المواصفات فذلك هو السبب ، وإلا فقد يكون نقص القطاع أو زيادة التحميل هو السبب .

وأسباب حدوث الشروخ العشوائية فى الأعمدة هى نفس أسباب حدوثها فى الكمرات .

ز - شروخ الحوائط الخرسانية (فوق سطح الأرض) - شكل (٥ / ١٦) - :

الشروخ الرأسية فى الحوائط إذا كانت مصاحبة بتساقط الخرسانة وآثار الصداً فسببها صدأ الحديد ، وإذا كانت متوازية مع حدوث تمدد عرضى وظهرت فى الأماكن الرطبة فقد يكون تفاعل القلويات مع الركام هو السبب ، وإذا كان الشرخ الرأسى يبدأ من الأساسات والحائط سميكاً والجو بارداً فالتقلص الحرارى المبكر غالباً هو السبب وفى هذه الحالة قد يظهر شرخ أفقى كذلك عند الدليل (kicker) أسفل الحائط .

وفى المناطق الباردة تسبب دورات التجمد والذوبان شروخاً عشوائية ، مع تفتت للخرسانة السطحية والإجهادات الحرارية الناشئة عن تدفئة المبنى من الداخل ، والبرودة الخارجية تسبب شروخاً فى الحوائط الخارجية قد تكون عشوائية أو شروخ انحناء حسب نوع القيد على الحركة ، أما فى المناطق الحارة فعدم وجود وصلات كافية يسبب شروخ الانكماش عند الجفاف ، وهى طولية وأفقية حسب نوع القيد على الحركة ، كما تظهر الشروخ الحرارية فى الحوائط الخارجية للمباني ذات التكييف المركزى .

أما الشروخ العشوائية التى تظهر فى أماكن غير رطبة فسببها مواد معيبة أو هجوم الكيماويات ، وتلك التى تظهر على الخرسانة الظاهرة فهى شروخ سرطانية نتيجة الشدة غير المنفذة للماء - راجع الباب الرابع - وفى الحوائط الرفيعة غالباً ما تكون الشروخ العشوائية شروخ انكماش نتيجة الجفاف .

ملاحظات (٦) :

هناك بعض الملاحظات التى تعين على تحديد سبب الشروخ مثل :

• إذا بدأت الشروخ من أماكن تركيز الإجهادات مثل قرب الفتحات أو عند حدوث تغير مفاجئ فى القطاع أو فجوات الأنابيب pipe sleeves أو ماشابه ذلك ، فإن

الانكماش أو الإجهادات الحرارية تكون سبباً محتملاً .

* إذا كانت هناك علاقة بين أماكن حدوث الشروخ ونقاط منع الحركة Points of restraint في العضو ، فالانكماش هو الاحتمال الأرجح .

* حدوث تغير في درجة حرارة الداخل عن الخارج Temperature gradient عادة ما يكون مصحوباً بتموج Curling أو دوران في العضو ، وإذا ظهر هذا فتغير الحرارة يكون هو سبب الشروخ . . .

* ارسم خطوط الإجهادات Stress - Flow Pattern ، هل الشروخ تسرى عمودية على خطوط إجهادات الضغط ؟ إذن إجهادات الشد هي سبب الشروخ .

* إذا كان العضو الخرساني به انبعاج local buckling ، فيمكن بحث احتمال أن يكون تحرك الشدة أثناء أو بعد الصب هو سبب الشروخ .

* إذا كانت الشروخ معزولة وحدثت في مكان واحد ، فالأرجح أنه قد حدث إجهاد زائد في هذا المكان ، ومن الصعب أن تكون الأسباب الطبيعية والحرارية هي السبب .

* عادة ما تتبع شروخ التحميل الزائد اتجاه الإجهادات القصوى Principal stresses .

٢ / ٣ - الخلاصة :

إن أسلوب التشخيص المقترح - أو أي أسلوب آخر للتشخيص - يمكن أن يستخدم بكفاءة في حالة التصميم الجيد والتنفيذ الجيد ، بحيث يكون هناك سبب واحد يعمل على تصدع الخرسانة ، وباستبعاد الاحتمالات غير الممكنة وبدراسة الأعراض والأدلة المتوفرة - كما سبق شرحه - يمكن تحديد هذا السبب ، أما إذا كان التصميم سليماً والتنفيذ به عيوب كثيرة ، أو كان هناك قصور في التصميم أو التفاصيل الإنشائية ، فإن أشكالاً متعددة من التصدع تحدث في آن واحد ، ويصبح من الصعب تحديد أسباب التدهور تحديداً قاطعاً ، ولكن هذا هو الطبيعي في الواقع ، فبمجرد أن ينخفض مستوى التصميم أو التنفيذ عن المستوى المحدد في المواصفات ، فإن الباب يفتح لحدوث تدهور في المنشأ الخرساني ، وتندفع كل العوامل الضارة في هجومها على الخرسانة غير الجيدة مسببة كل أشكال التدهور المتوقعة وغير المتوقعة ، ولذلك نجد أنه في مقابل كل حالة عادية ونمطية من حالات التدهور

هناك أكثر من حالة غير عادية لا تنطبق عليها أشكال التدهور المذكورة فى الباب الرابع .

وتكون النتيجة أن عملية التشخيص تصبح عملية معقدة تقوم على استبعاد العوامل غير الموجودة ، أو التى لا يمكن أن تسبب أشكال التدهور الحادثة ، ثم ترجيح عامل أو أكثر من العوامل المتبقية ، وفى الحقيقة فإن المهندسين ذوى الخبرة يعلمون أنه حتى فى حالات التدهور السهلة فقد لا يمكن الوصول إلى نتيجة قاطعة للتشخيص ، وإنما النتيجة تكون ترجيح لعامل أو أكثر بأنها سبب التدهور ، وفى هذه الحالة فإن الإصلاح يجب أن يحمى المنشأ من فعل عديد من عوامل تدهور الخرسانة وليس عاملاً واحداً .

ومن المهم أن نوضح أن أسلوب التشخيص المقترح ليس أكثر من خطوة أولى للتوصل إلى الحقيقة ، ولا يغنى عن الجمع الدقيق للأدلة وتحليلها ودراسة كل الحقائق المتعلقة بالحالة ، ويلزم التنويه على أن التعامل مع المعلومات والأدلة المتوفرة - بأسلوب التشخيص المقترح - ولكن مع التبسيط المخل أو الاستنتاج السريع بدون فحص كل الاحتمالات ، وإنما القفز إلى النتائج يمكن أن يكون ضرره أكثر من فائده ، كما يلزم التنبيه على أنه مالم يتم الوصول إلى نتيجة محددة وواضحة ، فإن طريق التشخيص يجب السير فيه حتى نهايته لئلا يتم إهمال دراسة بعض العوامل الثانوية المسببة للتدهور .

٣ - الحكم على سلامة المنشأ Appraisal of Existing Structures

إن الحكم على سلامة منشأ قائم هو عملية هندسية مختلفة عن تصميم المنشأ ، والهدف منها هو تقويم حالة منشأ قائم ، ويمكن الحكم على صلاحية المنشأ عن طريق الحكم الهندسى Engineering Judgement المبني على المعلومات المتجمعة من دراسة اللوحات ، ومراجعة الحسابات ، وفحص المبنى واختباره إذا لزم الأمر .

وطريقة الحكم على سلامة أى منشأ هي بوجه عام نفس الطرق المتبعة في مراجعة التصميمات الهندسية ، وبينما تختلف نقطة البدء في الحسابات وكذلك طريقة عرض النتائج في الحالتين ، فإن النظرية الأساسية واحدة .

ويشمل الحكم على سلامة المنشأ : الحكم على درجة الأمان من الانهيار safety against failure ، كما يشمل الحكم على مدى قدرة المنشأ على أداء وظيفته Serviceability وإن كانت الأولى تتطلب عناية بالحسابات واهتمام بالنتائج أكثر من الثانية لأنها تنطوي على تهديد للأرواح ، فعند تحديد سلامة المبنى من الناحية الإنشائية فلا بد من توخي الدقة الكاملة في الحسابات ، أما تحديد الصلاحية لأداء الوظيفة فهي مسألة تخضع للآراء - وخاصة آراء مستعملي المبنى - فحساب التشكل Deflection مثلاً في هذه الحالة لمقارنته بالقيم المعطاة في كود التصميم ليست له أهمية كبيرة ؛ لأن دقة حسابات التشكل لا يعتمد عليها كثيراً ، وإنما المهم بالنسبة لمنشأ قائم - ولن تتغير ظروف استخدامه - هو قيم التشكل التي حدثت فعلاً ، وهل هناك احتمال أن تزيد في المستقبل أم لا ، أما إذا كانت ظروف الاستخدام ستغير فلا بد من تقدير التشكل المحتمل وتأثيره على ظروف الاستخدام الجديدة ، ويجب التفرقة في هذه الحالة بين التشكل الناشئ عن الأعمال الدائمة وذلك الناشئ عن التغيرات Fluctuations في الحمل الحى .

٣ / ١ - خطوات الحكم على سلامة المنشأ :

٣ / ١ / ١ مقدمة :

إن الحكم على سلامة المنشأ هو عملية لها طريق دائرى - كما يظهر من شكل (٥ / ١٧) - فيتم تجميع المعلومات وعمل التحليل الإنشائي ، فإذا أظهرت النتائج أن المنشأ سليم فيمكن أن تقف العملية عند هذا الحد ، أما إذا كانت النتائج غير قاطعة فيتم جمع المزيد من

المعلومات وعمل تحليل إنشائي أكثر دقة . . . وهكذا ، ولذلك فإن السير فى طريق الحكم على المنشأ يجب أن يتم على مراحل كل مرحلة تعتمد على ما تم الوصول إليه فى المرحلة السابقة .

٣ / ١ / ٢ - المعلومات المطلوبة :

المعلومات التى تم تجميعها فى قسم ٢ / ٢ عن خلفية الموضوع وخاصة تلك المينة فى الجزء الخاص بالفحص الشامل ضرورية لعملية تقويم حالة المنشأ ، وهذه المعلومات تشمل اللوحات والنوتة الحسابية ، ومستندات التنفيذ ، وتاريخ المنشأ وحالته الراهنة من حيث المظهر ومقاومة المواد والأحمال الفعلية . . إلخ .

٣ / ١ / ٣ - التقويم المبدئى :

بعد تجميع المعلومات المتاحة يمكن ذراستها وعمل التحليل الإنشائي اللازم للتحقق من قدرة المنشأ على تحمل الأحمال الواقعة عليه ، وتحديد معاملات الأمان الفعلية ، ويجب التركيز على الاتزان وعلى صلاحية النظام الإنشائي للمنشأ فى حالته الراهنة ، وعند القيام بالحسابات الإنشائية يصبح من الضرورى وضع بعض الفروض عن طريقة توزيع الأحمال ومقاومة الخرسانة ، هذه الفروض يجب أن تكون متحفظة وفى جانب الأمان فى هذه المرحلة .

ومن الناحية العملية فعادة ما تكون الحسابات الأولية للحكم على سلامة المنشأ مثل حسابات مراجعة التصميم ، وتؤدى هذه الحسابات إلى أحد ثلاثة نتائج :

أ - أن تظهر الحسابات أن معامل الأمان مناسب حسب المواصفات والكود السارى ، وألا يسفر الفحص المبدئى عن ظهور أى علامات للتصدع ، وفى هذه الحالة وقبل إعلان أن المنشأ سليم يجب مراجعة فروض التصميم للتحقق من عدم وجود أخطاء أساسية ، كما يجب دراسة حالات خاصة مثل الكلال Fatigue والصدأ غير الظاهر ، أما إذا كانت الحسابات سليمة ولكن هناك أعراض تصدع فلا بد من عمل التشخيص الدقيق للوصول إلى الحكم السليم .

ب - أن تظهر الحسابات أن المنشأ محمل بأكثر من طاقته Over loaded لدرجة أن معامل الأمان المحسوب يصبح واحداً أو أقل ، وفى هذه الحالة إذا كان المنشأ يقوم بحمل الأحمال الواقعة عليه بدون أى علامات إجهاد زائد Over stress ويظهر بشكل

عام فى حالة جيدة ، فلا بد من فحص أسس الحسابات لمعرفة الخطأ فيها ، أما إذا كان المنشأ قد أصابته الشروخ لدرجة سيئة أو أصابه التشكل الزائد أو حدث له انهيار فىمكن مقارنة مظاهر التصدع - أو نوع الانهيار - بما أظهرته الحسابات لتحديد سبب التصدع - أو الانهيار - وهل هو بسبب زيادة الأحمال فقط أم له أسباب أخرى .

جـ - أن تظهر الحسابات أن معامل الأمان أكبر من الواحد ولكن أقل من المطلوب فى كود التصميم ، فإذا كان المنشأ ليس به دليل على عدم القدرة على تحمل الأحمال - أو به مظاهر تصدع بسيطة - فىمكن فى هذه الحالة القيام بحسابات أدق بعمل نموذج رياضى يأخذ فى اعتباره بدائل أخرى لتوزيع الأحمال ، كما يأخذ آليات تحمل الأحمال الثانوية Secondary load - carrying mechanisms مثل الطبيعة ثلاثية المحاور للمنشأ ، وتأثير الحوائط الطوب على زيادة قدرة الأعضاء الخرسانية على مقاومة الأحمال العرضية وغيرها .

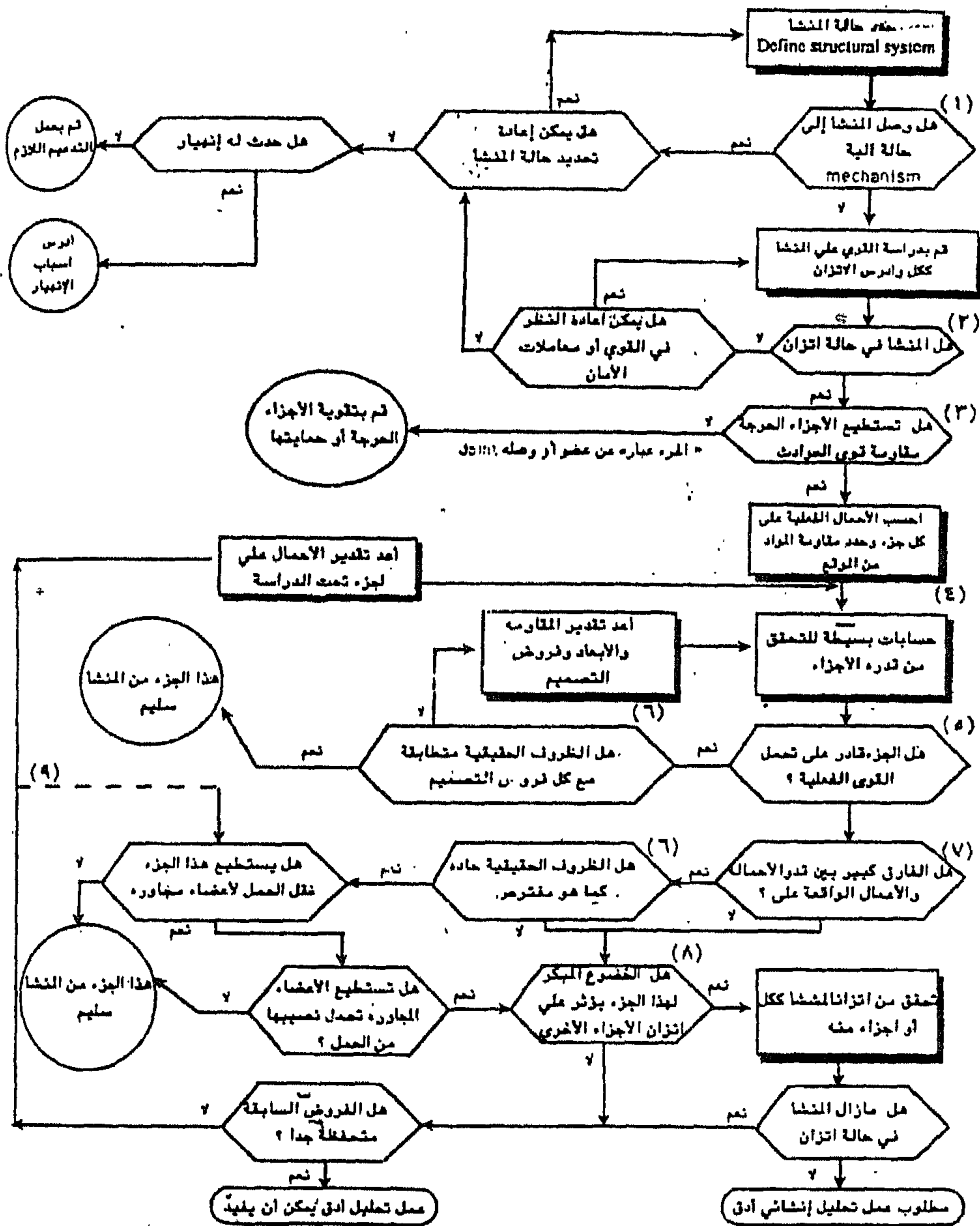
وتبين الأشكال رقم (١٧ / ٥) ، (١٨ / ٥) تتابع خطوات الحكم على سلامة المنشأ ، وتظهر المسارات الدائرية التى عادة ما يتبعها تقويم أى مبنى ، وهذا التابع وهذه المسارات لا تنطبق على كل حالات تقويم المنشآت أو الحكم على سلامتها بطبيعة الحال ، ويمكن أن تكون غير كاملة فى حالات بعينها ، ومع ذلك فهى تبين تسلسل الخطوات المطلوبة بوجه عام وتنبه إلى بعض النقاط الهامة ، وفى كثير من الأحيان يصبح من المفيد الخروج عن هذا التابع ، فمثلاً فى حالة وجود تصدع ظاهر بأحد أعضاء المنشأ يجب عمل حسابات بسيطة لهذا العضو أولاً للتحقق من قدرته على تحمل الأحمال قبل الدخول فى خطوات الحكم على المنشأ ككل .

وهذه الأشكال يجب قراءتها بالاستعانة بالمفتاح التالى :

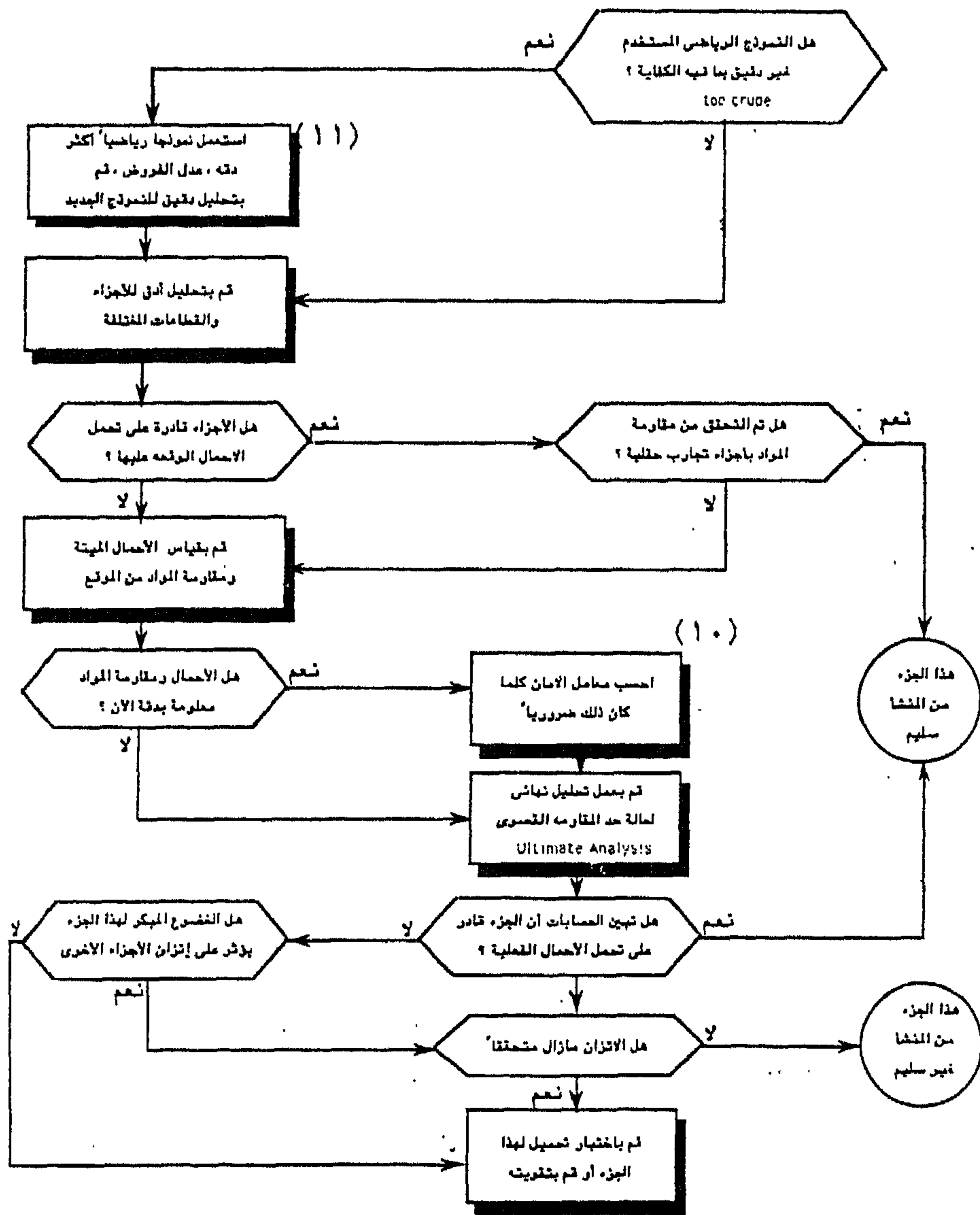
١ - وصول المنشأ إلى حالة آلية Mechanism تعنى أنه نتيجة حركة Disposition بعض الأعضاء أو حرية الوصلات للتشكل بدون زيادة فى العزم فإن المنشأ أصبح غير متزن .

٢ - فى هذه المرحلة تحقق من اتزان المنشأ ككل .

٣ - كلمة أجزاء تعنى أعضاء أو وصلات ، وذلك لأن نقاط الضعف فى المنشأ توجد فى الوصلات كما توجد فى الأعضاء ، والمقصود بقوى الحوادث Accidental forces القوى غير المتوقعة .



شكل (١٧/٥) خطوات الحكم على سلامة المنشأ أو جزء منه



شكل (١٨/٥) زيادة دقة التحليل الإنشائي

٤ ، ٥ - كلمة حسابات بسيطة تعنى الحسابات والفروض المستخدمة فى التصميم المعتاد ، فمثلاً يمكن حساب عزوم البلاطات والكمرات كما لو كانت كمرات مستمرة وعزوم الأعمدة كما لو كانت كابولى ، وفى حالة التحليل الأدق يمكن استخدام التحليل كإطارات Frame analysis لحساب الكمرات والأعمدة كإطار واحد ، ويمكن الأخذ فى الاعتبار تأثير الحوائط الطوب كأعضاء قطرية ، ثم يمكن عمل حسابات أكثر دقة باستخدام التحليل الفراغى Space frame analysis وهكذا .

الأميان متفقاً مع متطلبات كود التصميم .

٦ - يستحسن عمل زيارة للموقع فى هذه المرحلة للتأكد من أن الفروض المستخدمة فى الحسابات واقعية .

٧ - الفارق الكبير يعنى أن معامل الأمان الكلى Overall load factor أقل من ١,١ فى حالة الحمل الميت فقط .

٨ - كمثال على هذا أن يكون العضو محل الدراسة عبارة عن كمر أفقية وظيفتها تقليل طول الانبعاج لعמוד رئيسى ، وفى هذه الحالة إذا حدث خضوع مبكر لهذه الكمر - مثلاً كشرط أولى لإعادة توزيع الأحمال - فإن ذلك الخضوع سيحرم عضواً أكثر أهمية من السند الجانبى ، مما يؤدي إلى انبعاجه وحدوث عدم اتزان فى هذا الجزء من المنشأ .

٩ - مسار اختياري للأعضاء التى يزيد معامل أمانها عن الواحد ، ولكن يقل عن متطلبات الكود - انظر النقطة (ج) عليه .

١٠ - انظر قسم ٣ / ١ / ٥ .

١١ - استعمال نموذج رياضى أكثر دقة قد يتطلب إعادة ترتيب النظام الإنشائى الأساسى وطريقة تصرفه Mode of behaviour وقد يشمل إعادة تقدير مسارات الأحمال ونصيب كل جزء من الحمل ، وهذا قد يقتضى عدة دورات من المحاولة والخطأ لم تبين على الشكل لتفادى تعقيده ، ولأنها تختلف من منشأ لآخر ، وقد يستحق الأمر فى هذه المرحلة التحقق : هل نتائج الحسابات السابقة حساسة لتغير الفروض والنموذج الرياضى أم لا ؟

٣ / ١ / ٤ - تحسين الفروض :

فى مرحلة التقويم المبدئى تكون الفروض المستخدمة هى نفس فروض التصميم التقليدية المتحفظة ، فإذا اظهرت الحسابات أن قدرة العضو أقل من الإجهادات الواقعة عليه ولكن الفارق ليس كبيراً فقد يستحق الأمر دقة هذه الفروض ، ويتم ذلك بقياس الأبعاد والمسافات من الطبيعة وكذلك تحديد كثافة الأرضيات والقواطيع ومواد التشطيب لتحديد الحمل الميت بدقة كما أن إجراء التجارب الحقلية لتحديد المقاومة الفعلية للخرسانة مطلوبة فى هذه المرحلة .

٣ / ١ / ٥ - زيادة دقة التحليل الإنشائى :

بعد الحصول على معلومات أدق عن المنشأ والأحمال الواقعة عليه فمن الممكن زيادة دقة التحليل الإنشائى إذا احتاج الأمر ذلك - انظر آخر شكل (١٨ / ٥) - فحسابات التصميم عادة ما تستعمل طرقاً مبسطة فى التحليل الإنشائى والنماذج الرياضية تكون مستوية Two - Dimensional ولا تأخذ فى اعتبارها العوامل الثانوية-Secomdary con-tributions المؤثرة على قدرة تحمل الأحمال Load - carrying capacity ، كما أن تخفيض الأحمال على عضو أو جزء من عضو نتيجة أنه غير محدد استاتيكية-Static in-determinacies عادة ما تهمل أثناء التصميم .

وفى الوقت نفسه فإن أبعاد القطاعات وخواص المواد تكون لدرجة ما غير محددة فى مرحلة التصميم ويجب أن تشمل الحسابات على فروض متحفظة لتغطى عدم التحديد - الفروض فى الأوزان مثلاً تكون بالزيادة لتصبح فى ناحية الأمان - ولكن فى حالة تقويم منشأ قائم فإن أغلب المعلومات غير المحددة فى مرحلة التصميم يمكن تحديدها بدقة - مثلاً الأحمال الفعلية ومقاومة المواد الفعلية - ولذا فيمكن تعديل معامل الأمان فى هذه الحالة ، سواء الخاص بزيادة الأحمال أو الخاص بتخفيض مقاومة الخرسانة . ولكن يلزم التنبيه على أن استعمال معاملات أمان غير الموجودة فى كود التصميم ، يجب أن يتم بحذر ويقتصر على الحالات التى تكون فيها المعلومات المتاحة عن الأحمال والمقاومة الفعلية كافية .

٣ / ١ / ٥ - تعديل معاملات الأمان :

فى المواصفات الحديثة تم تقسيم معاملات الأمان إلى معامل لزيادة الأحمال Load

factor وآخر لتخفيض المقاومة Material factor وأصبحت معادلة التصميم بالصورة التالية :

$$\frac{\text{مقاومة العضو}}{\text{معامل خفض المقاومة (m)}} \geq \text{الأحمال} \times \text{معامل زيادة الأحمال (f)}$$

معامل زيادة الأحمال (f) :

في المواصفات البريطانية مثلاً (٧) نجد أن معامل زيادة الأحمال يتكون من ثلاث مركبات :

١ - معامل تغير الأحمال : ويأخذ في الاعتبار احتمال تغير الأحمال عن تلك المفترضة في التصميم .

٢ - معامل تزامن الأحمال مع Load combination : ويأخذ في الاعتبار احتمال حدوث أكثر من حمل بقيمته القصوى في وقت واحد (حمل ميت + حمل حي + حمل الريح مثلاً) وهو أقل من الوحدة .

٣ - معامل أداء المنشأ : ويأخذ في الاعتبار احتمال عدم الدقة في حساب التأثير الكلى للأحمال ، أو إعادة توزيع الإجهادات غير المتوقعه ، أو التغيرات في الأبعاد والمقاسات .

وبالنسبة لتقويم حالة منشأ قائم أمكن حساب الأحمال الميتة عليه بدقة ، وكذلك قياس الأبعاد والمسافات فإن هذه المعاملات يمكن تعديلها كالتالى :

• معامل تغير الأحمال للحمل الميت يمكن تخفيضه من ١,١٥ إلى ١,٠٥ .

• معامل تزامن الأحمال معاً يؤخذ كما هو .

• معامل أداء المنشأ يمكن تخفيضه من ١,٢ إلى :

أ - ١,٠٥ للأعضاء الثانوية التى لا يؤدى انهيارها إلى انهيار متابع بالمنشأ .

ب - ١,١٥ للأعضاء الرئيسة الحاملة لغيرها أو للأعضاء الثانوية التى قد يؤدى انهيارها إلى فقد للأرواح .

معامل خفض المقاومة (m) :

ويأخذ في اعتباره الفارق بين المقاومة الفعلية للعضو وبين مقاومة المكعبات القياسية ،

وقيمته في المواصفات البريطانية بالنسبة للخرسانة = ١,٥ ، لوجود أمور كثيرة غير محددة مثل جودة المواد المستخدمة في الخلطة وطرق الخلط والصب والدمك والمعالجة .. الخ ، ويمكن تخفيض هذا المعامل في حالة تقويم المنشآت إلى ١,٢٥ إذا كانت آلية الانهيار معروفة ، وهناك تحذير كاف قبل الانهيار (Ductility) ، أما في حالة الانهيار في القص أو في حالة الأعمدة - انهيار مفاجئ - فيجب ألا يقل هذا المعامل عن ١,٣٥ .

أما بالنسبة لصلب التسليح فمعامل تخفيض المقاومة قيمته ١,١٥ ، ويمكن تخفيضه في حالة الحكم على سلامة المنشآت إلى ١,٠٥ إذا كانت مقاومة الصلب للشد مت محددة بدقة في الموقع أثناء التنفيذ أو بأخذ عينات كافية واختبارها ، وفي هذه الحالة يجب قياس عمق القطاع الخرساني - بعد أسياخ التسليح عن سطح الخرسانة - واستعمال هذا العمق في الحسابات .

٣ / ١ / ٥ - حسابات تتطلب عناية خاصة :

إن الحسابات الهندسية لا تمثل التصرف الحقيقي للمنشأ ، ولكن الحسابات الصحيحة المبينة على معاملات الأمان المعطاة في كودات التصميم تؤدي - في أغلب الأحوال إلى منشآت آمنة (Safe) وصالحة للعمل (Serviceable) ، ولكن هناك أنواع من تصرف المنشآت لا يمكن التنبؤ بها بدقة عن طريق الحسابات ، ولذا فإن استعمال معاملات الأمان في هذه الحالة لن يضمن سلامة المنشأ ، ومن سوء الحظ أن أنواع الانهيارات التي يصعب التنبؤ بها بدقة عن طريق الحسابات هي انهيارات مفاجئة ، وتمثل خطراً على الأرواح .

ومن الخطورة عند تقويم المنشآت استعمال معادلات في غير محلها ، فإذا كانت هذه المعادلة مأخوذة من كود التصميم أو مواصفات عالمية ، فلا يوجد خطر عند استعمالها في مكانها بدقة وبالشروط الواردة في المواصفات ، أما إذا كانت المعادلة مأخوذة من مرجع آخر - كتاب أو بحث علمي - فيجب الأخذ في الاعتبار أن كثيراً من هذه المعادلات مستنتجة في ظل فروض معينة وظروف مثالية ولا يمكن تطبيقها إلا في ظل هذه الظروف ، فمعادلة أويلر (Euler formula) للانبعاث مثلاً تعطى الحمل المزن الحرج بدقة لعضو مستقيم له مفصلتان في نهايتيه ، ولكنها لا تأخذ في اعتبارها تأثير عوامل أخرى مثل مقاومة الخضوع ووجود انحناء مسبق في العضو ، وهي عوامل لا بد من أخذها في الاعتبار عند حساب حمل الانبعاج لعضو حقيقي معرض للضغط .

الإجهادات المركبة Combined stresses:

عادة ما يتم التصميم على أساس أحمال الشد والضغط والقص ذات الاتجاه الواحد Uniaxial ، وتقدير مقاومة المواد أيضا عن طريق اختبارات الشد والضغط المحورى ، ولكن الإجهادات فى الطبيعة يمكن أن تكون ذات اتجاهين ، فتكون إجهادات الانحناء - الشد والضغط - وإجهادات القص فى نقطة واحدة مما يؤدي إلى وجود إجهادات مركبة ، وفى هذه الحالة لابد من حساب الإجهادات القصوى (Principal stresses) والتنبؤ بأسلوب الانهيار حسب اتجاه ومكان هذه الإجهادات القصوى .

الكلال Fatigue :

إذا كان المطلوب حساب العمر المتبقى لمنشأ ما معرض لأحمال متكررة متغيرة ، فلا بد من اللجوء إلى حسابات الكلال ، هذه الحسابات تأخذ فى الاعتبار تحليل الأحمال التى تعرض لها المنشأ مسبقا ، وتلك المتوقع أن يتعرض لها مستقبلا ، وذلك بالإضافة إلى عمل تحليل رياضى للحصول على مجالات الإجهادات Stress spectrum فى المناطق التى عندها تركيز للإجهادات ، ثم يمكن بالاستعانة بنتائج اختبارات الكلال العملية عمل حسابات التصدع Damage calculation.

الانبعاج Buckling :

لابد أن تأخذ حسابات الانبعاج فى اعتبارها قيمة خضوع المادة Yield strength وسوء التنفيذ مثل تقوس الأعمدة أو دوران الكمرات ، ويجب الإجابة على بعض الأسئلة قبل الدخول فى حسابات الانبعاج :

• هل مقاومة المنشأ للأحمال ستتهبط فجأة إذا حدث انبعاج ؟ إذا كان ذلك صحيحا فإن تأثير سوء التنفيذ سيكون أكبر على حمل الانهيار .

• هل مادة الإنشاء معرضة للزحف ؟ والخرسانة معرضة للزحف مما يعنى تخفيضا فى الجساءة Stiffness يجب أخذه فى الاعتبار .

• أثناء التصميم هل تم افتراض أن الأعضاء المجاورة ستمنع العضو المعرض لانبعاج من الحركة ؟ وهل هذه الأعضاء قوية وجاسئة بما فيه الكفاية لتؤدى هذا الدور ؟

• إذا كانت المعادلات الخاصة بالانبعاج مأخوذة من كود معين أو مواصفة معينة ، فهل دقة الإنشاء تتناسب مع المتطلبات الموجودة فى هذا الكود أو هذه المواصفات ؟

٤ - تحديد مدى خطورة الشرخ Evaluation of cracks

٤ / ١ - دلالة الشروخ واتساعها :

إن الحكم على الشروخ ومدى خطورتها هو إلى حد كبير مسألة تقدير شخصي ، ومن الصعب وضع حد رقمي لعدد واتساع الشروخ . لا يسمح بأن تتعداه ، حيث إن هناك كثيرا من العوامل التي تؤثر في هذا الحد ، منها :

٤ / ١ / ١ - المظهر :

تقترح مواصفات التصميم البريطانية أن الشروخ التي يقل مقاسها عن ٣ مم تعتبر عموما مقبولة معماريا ، ولا تؤثر في الشكل تأثيرا ملحوظا ، ولكن هناك رأى آخر هو أنه لا بد من ربط اتساع الشرخ المقبول معماريا بمسافة الرؤية ، وكذلك بدرجة أهمية المبنى Prestige scale - كما هو مبين في شكل (١٩ / ٥) .

٤ / ١ / ٢ - السدودية للماء Water tightness :

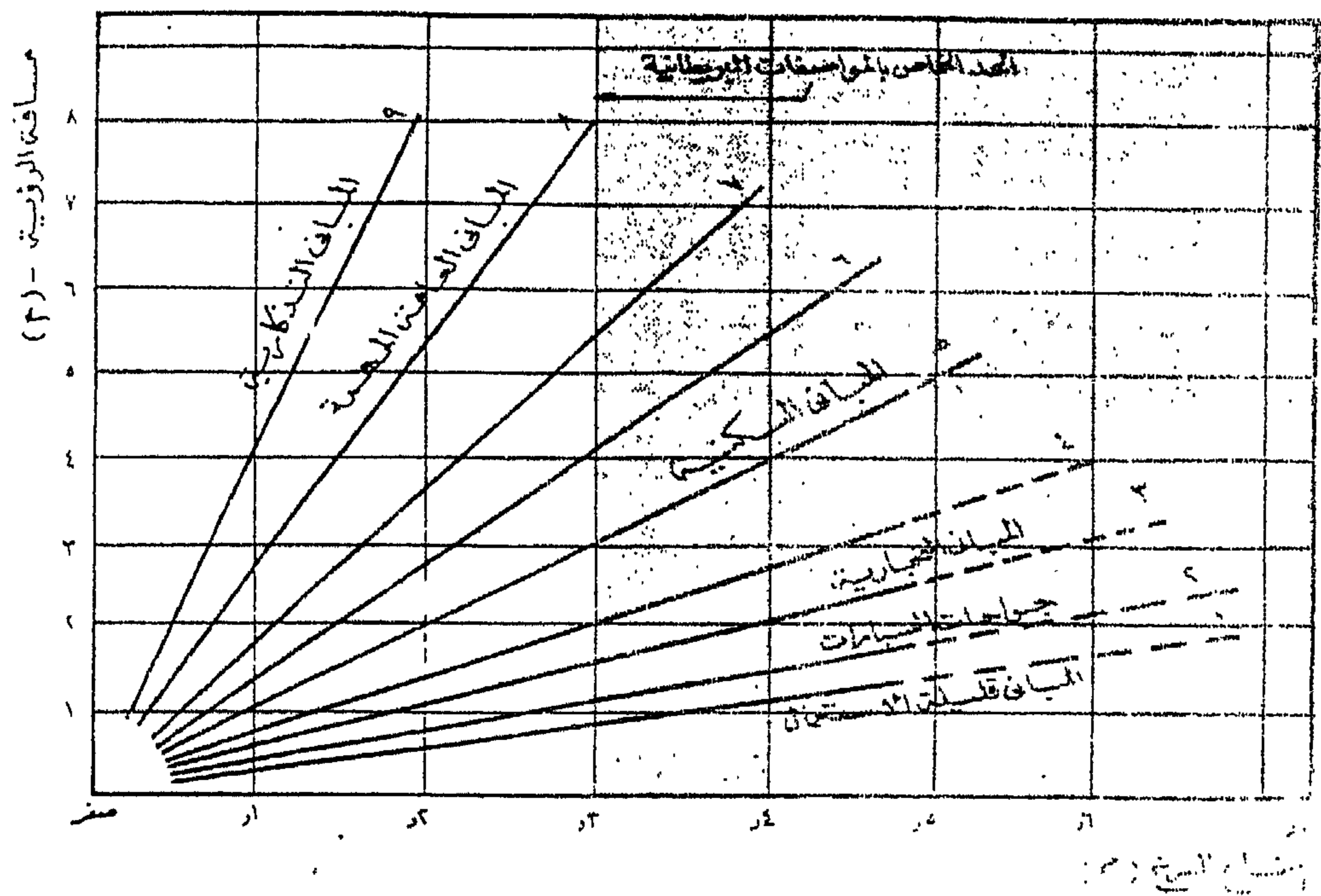
المواصفات القياسية البريطانية تقترح حداً أعلى لاتساع الشروخ هو ١ مم في الأماكن التي تتعرض لدورات من البلل والجفاف و ٢ مم في الأماكن الأخرى ، وهذا يعنى ضمنا أن كل الشروخ التي يقل اتساعها عن ٢ مم تكون غير منفذة للماء ، وتفسير ذلك أنه عندما يغفل الماء خلال الشروخ يعمل على إذابة أملاح هيدروكسيد الكالسيوم الموجودة في الأسمنت ، وبعد ذلك عندما يتصل بثاني أكسيد الكربون الموجود بالجو ترسب كربونات الكالسيوم على هيئة بللورات ، وهذا التفاعل هو نوع من الالتصام الطبيعي ، ويمكن أن يكون فعالا جدا في سد الشروخ الشعرية ولكن ينتج عنه بقع غير مرئية على السطح ، ومع ذلك فاحتمال انسداد شروخ معينة ذات سعة حوالى ٢ مم عن طريق هذه العملية يعتمد على عدة عوامل منها :

أ - ارتفاع الماء فوق الشروخ .

ب - درجة عسر الماء والأس الهيدروجيني لها (PH) .

ج - هل الشروخ متوازية أم لا وهل يتناقص اتساعها تدريجيا ؟

د - هل هناك احتمال لتحرك الشروخ مع استعمال المنشأ (هل هى شروخ حية) ؟



شكل (١٩/٥) الشروح المقبولة من ناحية المظهر (مرجع ١٢)

وفى معظم الأحوال فى الخزانات - مثلاً - فإن الشروخ التى لا يتعدى اتساعها ٢, مم
والتي يحكم زيادة اتساعها صلب تسليح ما زال فى مرحلة المرونة ، ستصبح غير منفذة
للماء بعد عدة أيام من تعرضها للماء .

ومن أجل استيفاء شرطى عدم النفاذية والمظهر فى نفس الوقت ، فإنه من الضرورى
تصميم الخزان على أساس أن يكون الخزان خالياً من الشروخ وأن تكفى وصلات الحركة
لكل التحرك الناجم عن التقلص والانكماش ، وبحيث تكون هذه الوصلات مزودة بمانع
مائى (water stop) .

والطريقة الثانية - وهى أكثر ضماناً - تكون بتبطين الخزان داخلياً بمادة غير منفذة
وبها مطاطية كافية حتى لا يستطيع الماء الوصول إلى الشروخ أو الوصلات .

٤ / ١ / ٣ - صدأ الحديد :

تضع بعض المواصفات حداً لاتساع الشروخ المسموح بها حسب درجة تعرض
العضو الخرساني للعوامل الجوية ، على أساس افتراض أن صلب التسليح المار بشروخ
واسعة معرض للصدأ أكثر من المار بشروخ ضيقة ، ومع ذلك فليس هناك إلا القليل من
الأدلة التى تدعم هذا الافتراض .

وفى حالة مطابقة الغطاء الخرساني للمواصفات وبحيث تكون الخرسانة المحيطة
بالأسياخ جيدة فلن يحدث صدأ ، ولكن تكون رخ فى الخرسانة التى تغطى الأسياخ
سيسمح بدخول ثانى أكسيد الكربون والكلوريدات ، وبهذا تتلاشى الطبقة الحامية
السلبية Passive protection التى تغطى سطح الأسياخ ومن ثم يبدأ الصدأ ، وهناك رأى
بأن معدل الصدأ لا يتأثر بالاتساع السطحي للشرخ حتى ١,٥ مم ، ولكن يمكن القول بأن
الشروخ التى يزيد اتساعها عن ٢, مم ستؤدى إلى صدأ الحديد مع الوقت ، ويزيد معدل
هذا الصدأ إذا كان اتساع الشرخ أكبر من ١,٥ مم .

٤ / ١ / ٤ - الوصول إلى حالة من حالات الحدود Reaching a limit state :

يمكن اعتبار أن الشروخ قد وصلت إلى حالة حدية إذا كانت :

أ - غير مقبولة من ناحية المظهر .

ب - تجعل المنشأ غير سدود للماء (منفذ) .

هـ - تؤثر على قدرة المنشأ على التحمل مع الزمن .

د - غير مقبولة من الناحية الإنشائية .

٤ / ٢ - العرض المسموح به للشروخ : Acceptable crack width :

إن تحديد ما هو عرض الشروخ المسموح به وما هو العرض غير المسموح به ، هو مسألة تعتمد على وجهة النظر أو معيار التحديد - مثلاً : الشكل ، الأدائية ، التجمل مع الزمن .. إلخ - فشرخ فى سقف مصنع سيكون مقبولا أكثر من شرخ فى مبنى سكنى ، وشرخ داخلي فى مبنى سكنى يسبب إزعاجا أكثر من شرخ بنفس الاتساع ، ولكن على الحائط الخارجى للمبنى ، والشرخ على الحائط الخارجى للمبنى سيكون أكثر وضوحا إذا كان البياض أملسا والدهان بلون فاتح عن شرخ فى حائط مغطى بطرطشة خشنة داكنة اللون ، وشرخ صغير - حتى ٢ مم مثلاً - عند مستوى النظر فى حائط مبنى قد يعتبر غير مقبول ويحتاج إلى إصلاح ، رغم أن نفس الشرخ إذا حدث على ارتفاع كبير فى الحائط فلن يثير الاهتمام ولن تتخذ خطوات لإصلاحه .

وهناك اعتبار آخر لمسألة العرض المسموح به للشروخ وهو مسألة من هو الذى يحدد ما هو المسموح به وما هو غير المسموح به ، هل هى مواصفات وكود التصميم أم مهندس الحى (مهندس الحكومة) أم المهندس المعماري للمبنى أم المهندس الإنشائي أم مالك العقار أم مالكي الوحدات السكنية بعد شغلها أم شركة التأمين ؟

وهل قبول الشرخ من ناحية شاغلي العقار يعتبر معيارا لتحديد العرض المسموح به ، فالشرخ الشعري (حتى ٣ مم) مثلاً - فى معظم المباني - يصعب ملاحظته ويعتبر مقبولا ولكن فى بعض المنشآت الخرسانية - كالحزانات مثلاً - لا يسمح بالشروخ الشعرية ، وفى المباني العامة يصبح اهتمام الناس بالشروخ أقل من المباني الخاصة ، وهناك شروخ غير متسعة ولا يلحظها إلا الخبير ولكنها فى منطقة اتصال كمرّة بعמוד وقد تكون خطيرة وغير مقبولة ، فهل الشرخ الذى يصعب ملاحظته إلا بعين خبيرة يعتبر مقبولا بوجه عام ؟ .

نخلص من هذه المناقشة إلى أنه من الصعب وضع حدود رقمية لسعة الشروخ المقبولة ، حيث إن المعيار الخاص بذلك معيارا غير موضوعي (شخصي) Subjective ، ولكن هناك بعض الاقتراحات لتحديد عروض الشروخ المسموح بها من وجهة نظر المظهر ، وعدم النفاذية ، وصدا الحديد ، والتحمل مع الزمن .. إلخ .

أ - المظهر : سبق الإشارة إلى اقتراح المواصفات البريطانية بألا يزيد عرض الشرخ عن ٣ ,
مم حتى يكون مقبولا من ناحية المظهر ، وشكل (٥ / ٢٣) يربط العرض المسموح به
من ناحية المظهر بمسافة الرؤية ودرجة أهمية المبنى .

ب - عدم النفاذية للماء : تقترح مواصفات الخزانات البريطانية حدا أقصى عبارة عن
١ , مم لعرض الشروخ فى الأماكن المعرضة لدورات البلل والجفاف و ٢ , مم للأماكن
الأخرى بالخزانات .

ج - صدأ الحديد : يعطى جدول (٥ / ٥) توجيهات عامة بالنسبة لعرض الشروخ
المسموح بها على سطح الخرسانة المعرضة للتشد ، وهذا الجدول مبنى على الابحاث
الموضحة فى مرجع (٩) وموجود فى المواصفات الأمريكية (١٠) ، وفى المواصفات
البريطانية كذلك يحدد اتساع الشرخ المسموح به حسب درجة تعرض السطح
للعوامل الجوية وبافتراض أن صلب التسليح المار بالشروخ الواسعة أكثر عرضة
للصدأ من ذلك المار بالشروخ الضيقة .

ولكن مرجع (١١) قام بمقارنة النتائج التى توصل إليها العديد من الباحثين ولم
يجد إلا القليل من الأدلة التى تدعم الفرض القائل بأن الشروخ الواسعة (ولكن أقل
من ١,٥ مم) تساعد على الصدأ أكثر من الشروخ الضيقة .

وهناك نقطة مهمة خاصة بسعة الشروخ المسببة للصدأ وهى أنه كلما زاد الغطاء
الخرسانى كلما أدى إلى شروخ أكثر اتساعا عند السطح ، ولكن زيادة الغطاء
الخرسانى - حتى وإن أدت إلى شروخ أكثر اتساعا - هى الحل المفضل فى بعض
الأجواء للحد من الصدأ ، وعلى هذا فلا بد للمهندس المصمم من أن يرجع لخبرته
وحكمة الهندسى عند تحديد درجة التحكم فى التشريح المطلوبة وبالتالى تحديد
عروض الشروخ المسموح بها .

د - أدائية الخرسانة : ما زالت هناك مجموعة من الأسئلة مطروحة حول أهمية اتساع
الشروخ بالنسبة لأدائية الخرسانة المسلحة والخرسانة سابقة الإجهاد ، فزيادة الغطاء
الخرسانى يوصى به عادة لتحسين الحماية ضد صدأ الحديد ، ولكن هذه الزيادة تؤدى
أيضا إلى زيادة اتساع الشروخ السطحية - راجع قسم ٣ / ٢ / ٢ من الباب الثالث -

ولذا فإن السؤال بوجه عام عن أهمية وتأثير سعة الشروخ على حسن أداء الخرسانة
لوظيفتها ما زال بدون إجابة شافية .

أقصى اتساع للشروخ (مم)	درجة التعرض للجو
٠,٤	هواء جاف
٠,٤	تغطية بطبقة حماية
٠,٣	درجة رطوبة عالية وبلل
٠,١٧٥	التعرض لكيمائيات - إذابة الجليد
٠,١٥	التعرض لاء البحر أو رذاذ الماء
٠,١٥	التعرض لدورات البلل والجفاف
٠,١	خزانات

جدول (٥ / ٥) أقصى الشروخ المسموح به في الخرسانة المسلحة (٩)

ملحق

قائمة الفحص Check list

١ - وصف عام للمنشأ

١ / ١ - الموقع ونوع المنشأ وأبعاده وارتفاعه :

١ / ٢ - التصميم :

* طبيعة الاستخدام التى أخذت فى الاعتبار عند التصميم والاستخدام الذى تم فعلاً
(كل تغير فى الاستخدام ما أمكن) .

* خصائص ذات طبيعة خاصة بهذا المنشأ .

* الجسات وطبيعة التربة التى أنشأ عليها .

* المصارف والترع الملاصقة - مواقع العمل القرية - تغير منسوب المياه الجوفية .

١ / ٣ - الصور :

* المنظر العام .

* صورة قرية للأجزاء المعينة .

١ / ٤ - استكشافات :

* موقع المبنى موضحاً عليه اتجاه الشمال والمباني المحيطة وارتفاعها .

* الأجزاء المعرضة للشمس .

* الأجزاء التى بها عيوب فى الصرف الصحى .

٢ - الحالة الراهنة للمنشأ

٢ / ١ - الحركة والتشكل فى المنشأ :

هبوط - انحناء - حركة أفقية - تمدد - تقلص .

٢ / ٢ - الأجزاء التى بها أعراض تصدع :

أعمدة - كمرات - بلاطات - حوائط - .. إلخ .

٣ / ٢ حالة السطح :

- عموماً (جيدة - متوسطة - سيئة) .
- الشروخ (المكان والتكرار - النوع والمقاس (انظر التعريفات) - ظهور أملاح حول الشروخ leaching.
- التآكل السطحي (المساحة وعمق التآكل - النوع (انظر التعريفات) .
- تساقط الخرسانة Spalls, pop-outs العدد والمسطح والعمق - النوع (انظر التعريفات) .
- صدأ صلب التسليح (بقع الصدأ - تساقط الخرسانة وظهور الصلب - أى إصلاحات سابقة) .
- هجوم الكيماويات (التآكل السطحي مساحته وعمقه - الانتفاخ وتساقط الخرسانة - وجود أملاح أو مواد غريبة على السطح) .
- البرى (المساحة والموقع والحالة) .
- التعشيش .

• التحول الكربوني للسطح .

٢ / ٤ - حالة الخرسانة الداخلية :

- مقاومة القلب الخرساني - كثافة خرسانة القلب - الامتصاص والنفاذية .
- التماسك بين المونة والركام وبينها وبين صلب التسليح .
- محتوى الكلوريدات .
- اختبارات مطرقة الارتداد والنبضة الصوتية .
- الغطاء الخرساني لصلب التسليح .
- اختبار القابلية الكهربائية والمقاومة الكهربائية لتحديد درجة الصدأ .
- وجود ما يدل على تفاعل الركام مع القلويات أو أى تفاعلات كيميائية أخرى .

٣ - ظروف التحميل والبيئة المحيطة :

٣ / ١ - تأثير البيئة المحيطة :

- * نوع البيئة المحيطة (حارة وجافة - حارة ورطبة - باردة - بحرية - صناعية .. إلخ) .
- * الجو المحيط (درجات حرارة يناير ويوليو - حجم المطر السنوى وتوزيعه على الشهور - درجة الرطوبة . إلخ) .
- * دورات التجمد والذوبان .
- * الجفاف (درجة الحرارة والرطوبة وسرعة الرياح) .
- * وجود الكيماويات (الكبريتات - الكلوريدات - الأحماض) .
- * عوامل البرى والتآكل وتأثير المياه السريعة (Cavitation) .
- * التيارات الكهربائية .

٣ / ٢ - صرف مياه الأمطار :

كفاءة الصرف - كيفية الصرف .

٣ / ٣ - الأحمال :

الميتة والحية - الصدمات - الاهتزازات - أحمال المرور - أحمال الرياح - أى أحمال أخرى .

٣ / ٤ - التربة :

(الاتزان - التربة المتفخخة - الهبوط - القيد على الحركة) . فى حالة بلاطات الأرضية .

٤ - المواد المستخدمة :

٤ / ١ الأسمنت :

نوعه ومصدره وتحليله الكيميائى (من السجلات) وخواصه .

٤ / ٢ - الركام الكبير والصغير (كل على حدة) :

نوعه ومصدره - حالة سطحه - شكل الحبيبات - التدرج والصلادة - الطبقة التى

تغليف الحبيبات (إن وجدت) .

٤ / ٣ - ماء الخلط :

المصدر والجودة .

٤ / ٤ - الإضافات :

* الإضافات المعدنية Mineral admixtures : نوعها ومصدرها - خواصها الطبيعية والكيميائية .

* الإضافات الكيميائية : نوعها ومصدرها - تركيبها - كميتها .

٤ / ٥ - صلب التسليح :

إجهاد الخضوع - الكشف عن وجود الكائنات - سمك الغطاء الخرساني - استخدام اللحام مع الحديد عالي المقاومة .

٤ / ٦ - الخلطة : نسب الأسمنت والركام والماء ، كمية الإضافات .

٤ / ٧ - خواص الخرسانة الطازجة :

هبوط المخروط - القابلية للتشغيل - نسبة الهواء المحبوس .

٥ - طرق التنفيذ المستخدمة :

٥ / ١ التعامل مع المواد :

* الركام : التدرج - الفسيل - التخزين .

* الأسمنت والإضافات : التخزين - التناول (Handling) .

* صلب التسليح : التخزين - رص الحديد - وضع تخانات تحت التسليح لعمل الغطاء الخرساني .

٥ / ٢ - الفرغ :

نوعها - تدعيمها - دهان سطحها - عزلها (في حالة الجو شديد البرودة) .

٥ / ٣ - الخلط :

الخلاطة أو محطة الخلط (نوعها وحالتها وطريقة وتتابع الخلط وزمن الخلط) .

- النقل : بُعد مكان الصب عن الخلاطة وكيفية نقل الخرسانة .
- الصب : الطريقة المستخدمة (تقليدية – شدة منزلقة .. إلخ) المعدات المستخدمة ،
الجو المحيط أثناء الصب (وقت الصب من السنة – درجة الحرارة – الأمطار –
الرياح – الرطوبة .. إلخ) .
- الدمك : وجود الهزازات أثناء الصب – الأعضاء العميقة وكيفية دمكها .
- الوصلات : وصلات الصب وتتابع الصب .
- نهو السطح : باليد أو بالآلات – نوع الآلات المستخدمة – الإضافات (للصلادة –
لملمس السطح – للتلوين) .
- المعالجة : الطريقة (بالرش بالماء – بالتغطية – بالرش بمواد تغطي السطح – مدة
المعالجة – كفاءة المعالجة – التعرض لدورات الليل والجفاف .
- فك الشدة : وقت الفك .

تعريفات :

عند إعداد تقرير الفحص الشامل يحتاج المهندس إلى تعريفات محددة لتوصيف درجة تصدع العضو الخرساني من حيث الشروخ أو تساقط الخرسانة أو التآكل السطحي .. إلخ لأنه من الصعب أن يحتوى التقرير على صور فوتوغرافية لكل جزء أصابة التصدع ، وقد اقترحت جمعية المهندسين الأمريكية بعض التعريفات التي لو تم تعميمها بعد الاتفاق عليها لسهل على مهندس الفحص توصيف درجة العطب ولسهل على من يقرأ التقرير فهم هذا التوصيف والإحساس به .

أ- الشروخ :

ويتم تصنيف الشروخ باتجاهها وعرضها ، فالاتجاه يستعمل لوصفه : شروخ طولية أو عرضية أو رأسية أو قطرية (Diagonal) أو مقوسة Radial أو متعددة الاتجاه Random والعرض يقسم إلى : شروخ رفيعة (أقل من ١ مم) ومتوسطة (من ١ – ٢ مم) وعريضة (أكبر من ٢ مم) انظر أشكال (٥ / ٢٠ أ إلى خ) .

ب - تدهور الخرسانة :

وهو التحول إلى الأسوأ في الخواص الميكانيكية أو الطبيعية أو الكيميائية للخرسانة السطحية أو الداخلية مما يؤدي إلى انفصال مكونات الخرسانة عن بعضها .

١ - التفتت : وهو تفتت الخرسانة إلى أجزاء أو حبيبات صغيرة .

٢ - الانتفاخ : وهو تغير الشكل الأصلي .

٣ - التمليح : وهو ترسيب الأملاح (عادة البيضاء) على السطح ومصدرها من داخل الخرسانة وليس من الخارج .

٤ - التجويف البسيط Pitting : وهي فجوات سطحية صغيرة نتيجة الصدأ أو المياه السريعة أو التدهور السطحي .

٥ - التجويف السطحي Cavitation : وهي فجوات متصلة نتيجة عوامل التآكل مثل المياه السريعة .

٦ - الحفر السطحية Pop - outs : وهي انفصال أجزاء صغيرة من سطح الخرسانة نتيجة ضغط داخلي مما يترك حفر مخروطية الشكل وتنقسم إلى : حفر صغيرة (قطر أقل من ١٠ مم وحفر متوسطة (قطر من ١٠ - ٥٠ مم) وحفر كبيرة (قطر أكبر من ٥٠ مم) - انظر شكل (٢١ / ٥) .

٧ - التآكل السطحي Erosion : وهو التآكل نتيجة البرى بفعل الرياح أو المياه المحملة بالمواد الناعمة أو بفعل مرور المركبات .

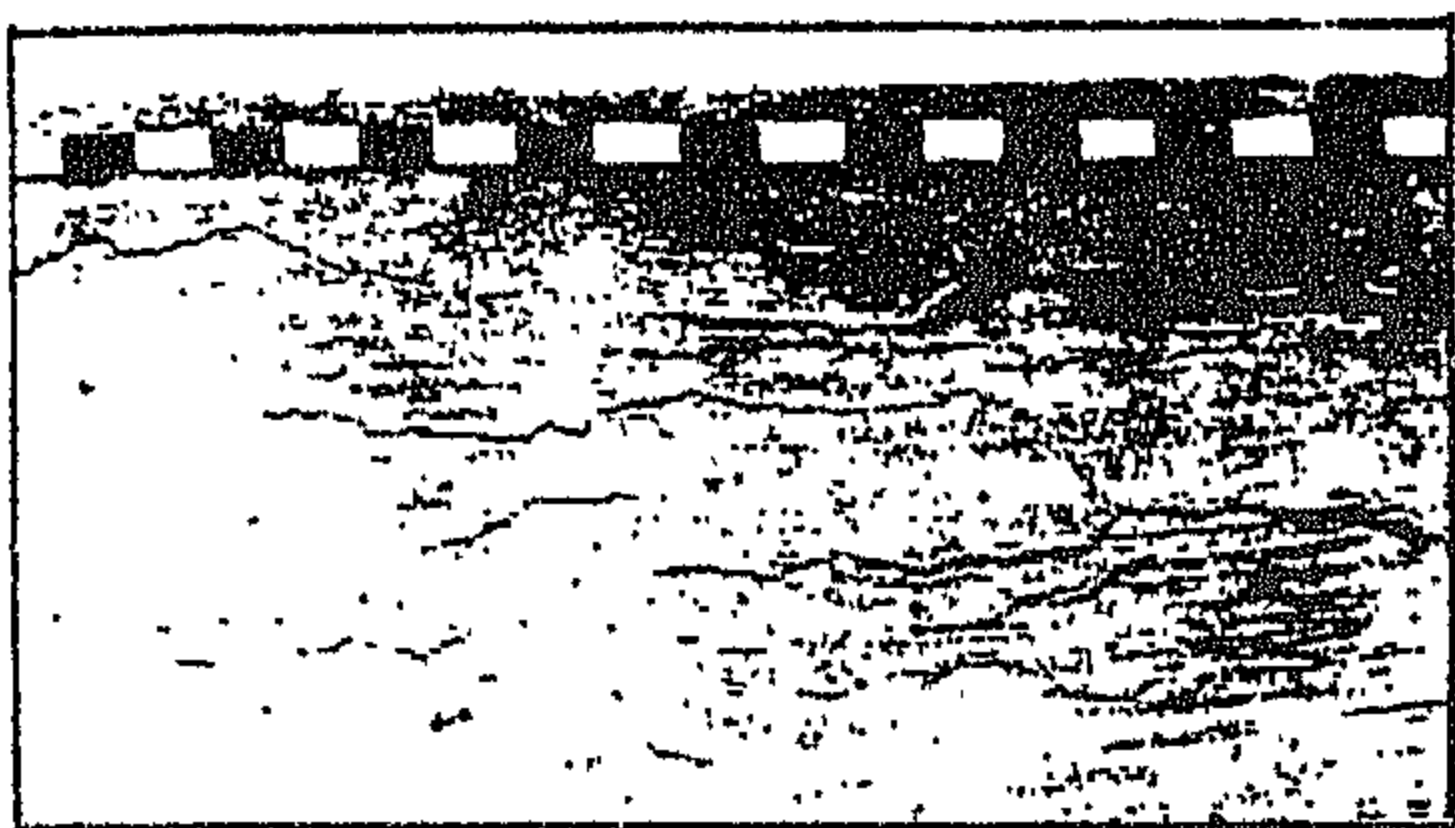
٨ - التقشير peeling , scaling : وهو تساقط طبقات المونة السطحية وقد يكون تقشيراً طفيفاً (تساقط المونة بدون ظهور الركام الكبير) أو تقشيراً متوسطاً (تساقط المونة بعمق من ٥ - ١٠ مم مع ظهور الركام الكبير) أو تقشير شديد (وهو سقوط المونة لعمق ١٠ مم مع تساقط بعض المونة حول حبيبات الركام حتى عمق ٢٠ مم بحيث تصبح حبيبات الركام ظاهرة ، وأو تقشير شديد جداً (ويصحبه تساقط حبيبات الركام لأن عمق المونة المفككة يزيد على ٢٠ مم) - شكل (٢٢ / ٥) .

٩ - تساقط الخرسانة Spalling : وهو تساقط أجزاء من خرسانة الغطاء الخرساني في صورة قطع من الخرسانة وينقسم إلى تساقط بسيط (قطع بطول لا يزيد عن ١٥٠ مم وعمق لا يزيد عن ٢٠ مم) أو تساقط كبير (وهو تساقط أجزاء كبيرة من السقف

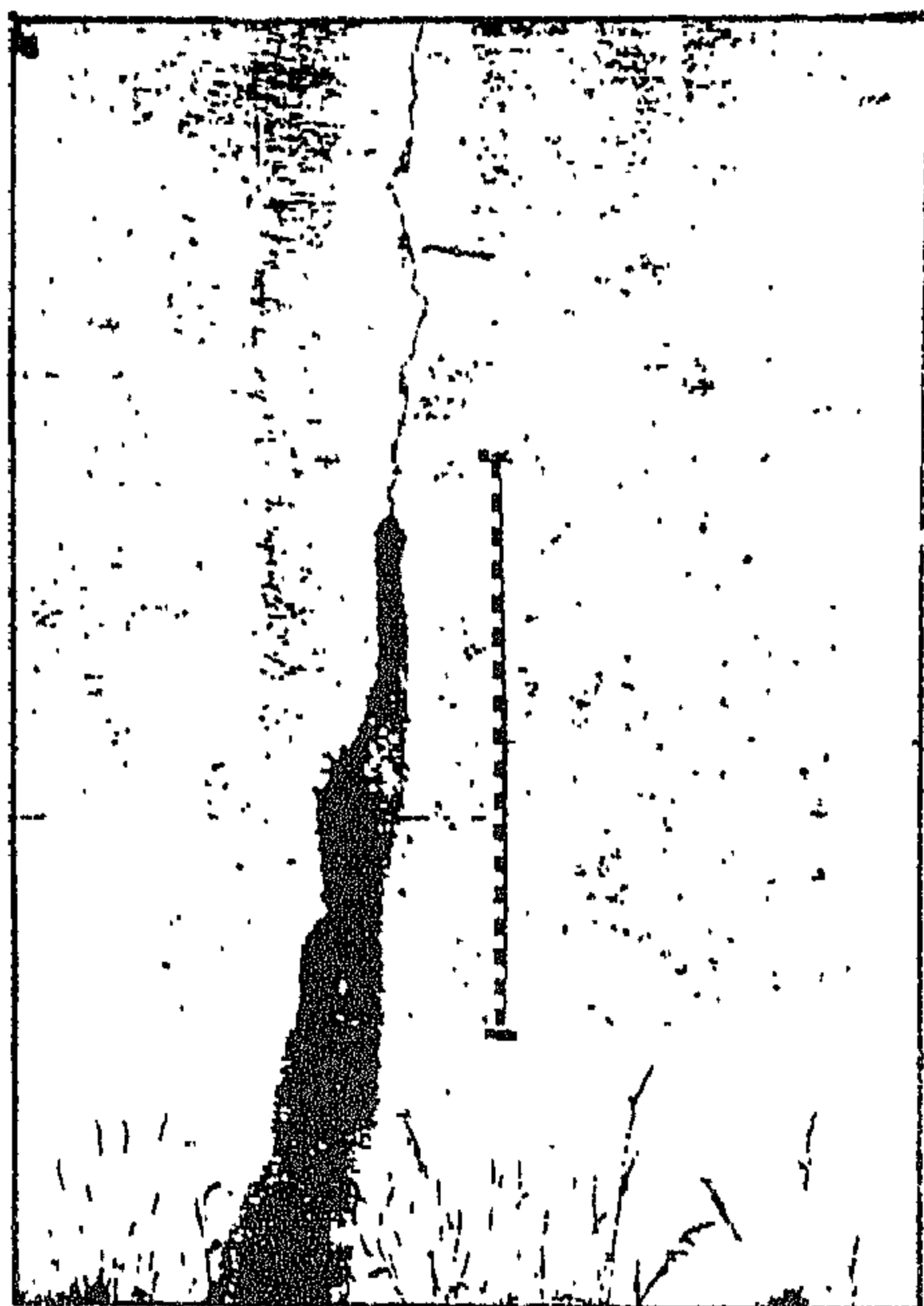
مثلا بمسطحات اكبر من ١٥٠ مم فى أى اتجاه) أو تساقط عند الوصلات -
شكل (٥ / ٥) .

١٠ - الانفصال إلى طبقات : وهو انفصال الخرسانة التى بها محتوى زائد من المياه أو التى زاد دمكها عن الحد المعقول إلى طبقات أفقية مع وجود الطبقات الضعيفة والخفيفة بأعلى .

١١ - التعشيش : وهو وجود فراغات داخلية لم تملأ أثناء صب العضو الخرسانى - شكل
٥ / ٤٠) بالباب الرابع .



أ - شروخ طولية (متوسطة)



د - شروخ رأسي (متوسط)



ب - شروخ عرضية (واسعة)



هـ - شروخ رأسي (عريض)



ج - شروخ عرضية (رفيعة)

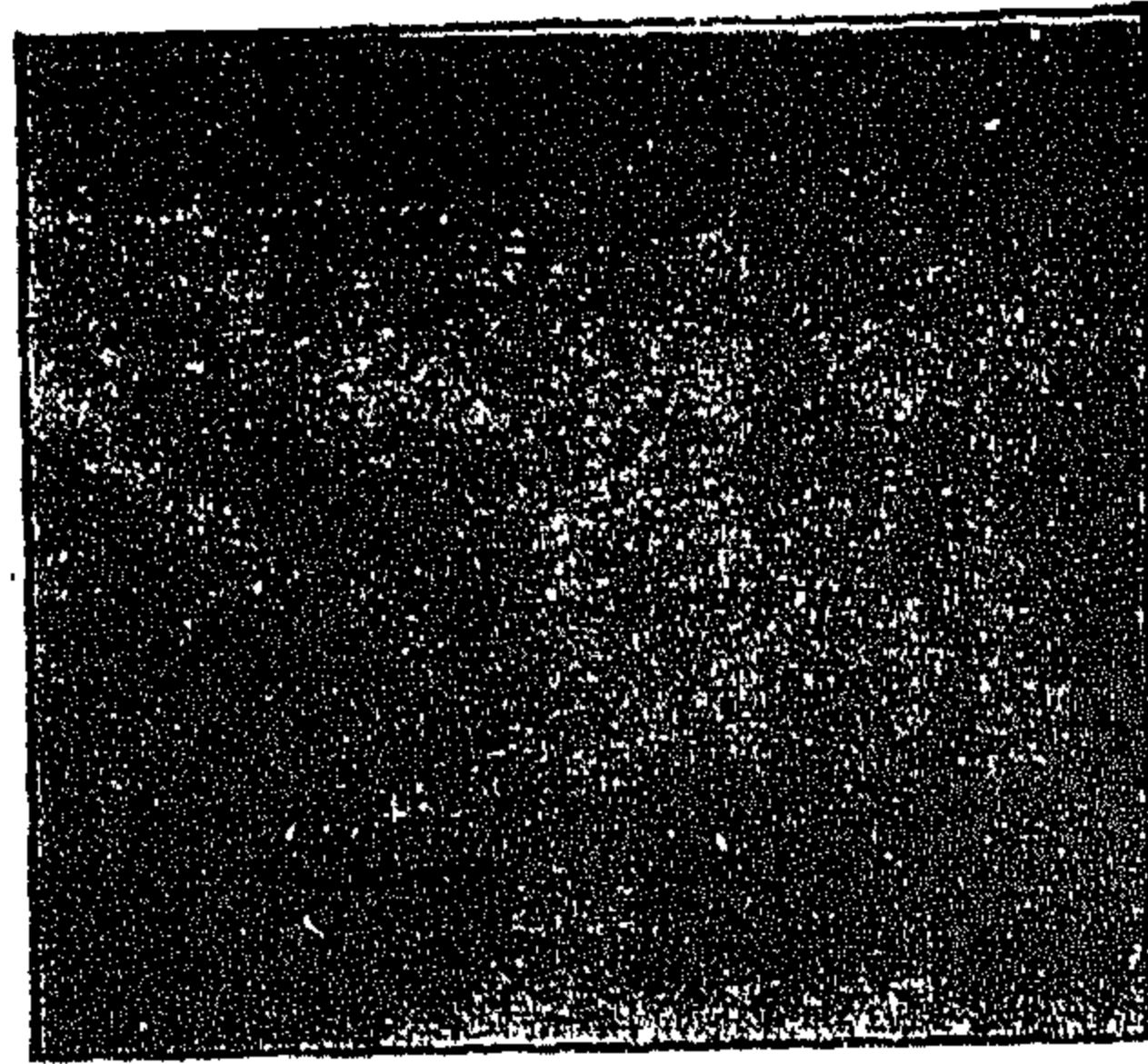
شكل (٢٠ / ٥) أشكال الشروخ المختلفة (٢)



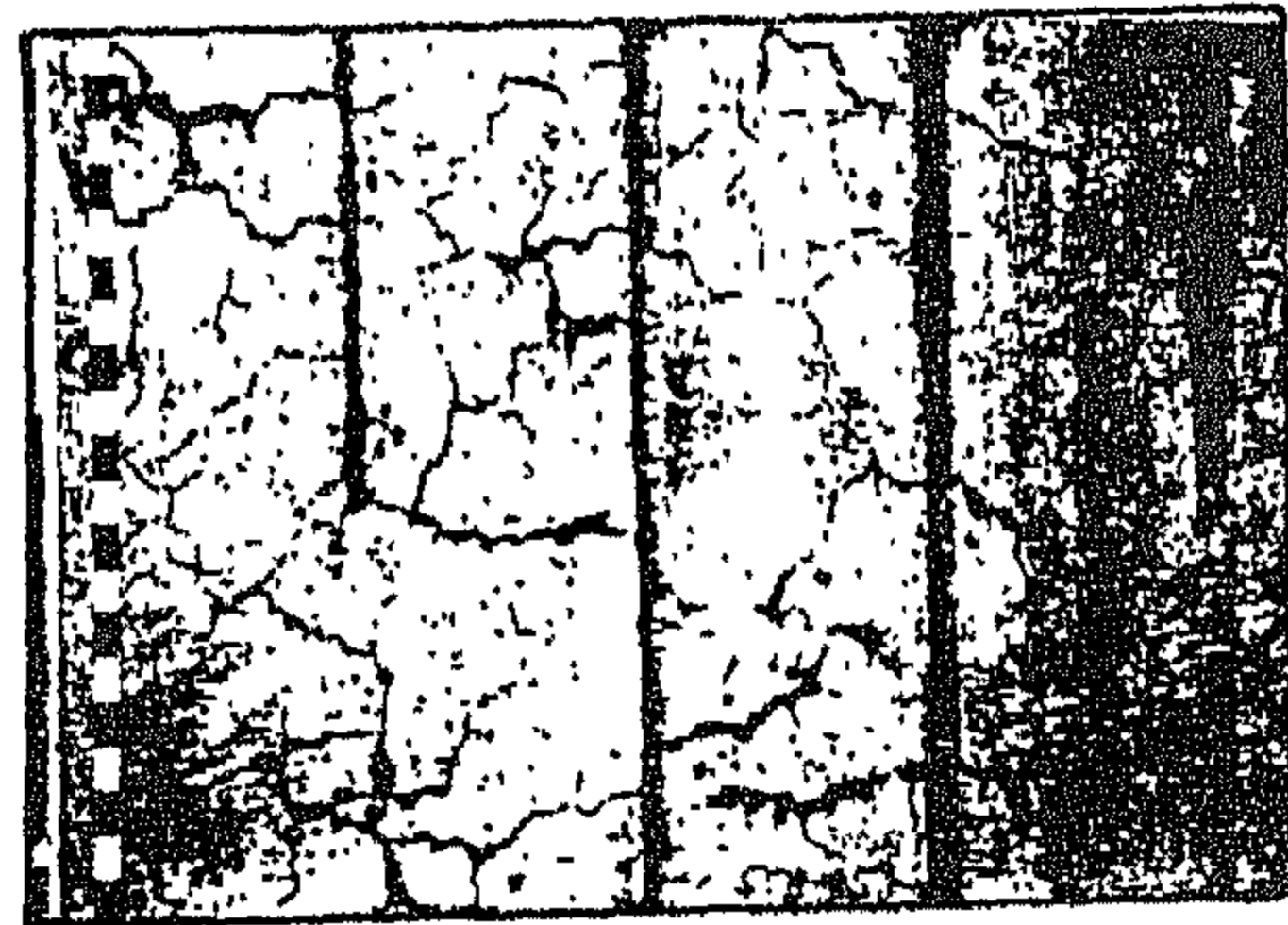
و - شروخ قطري (عريض)



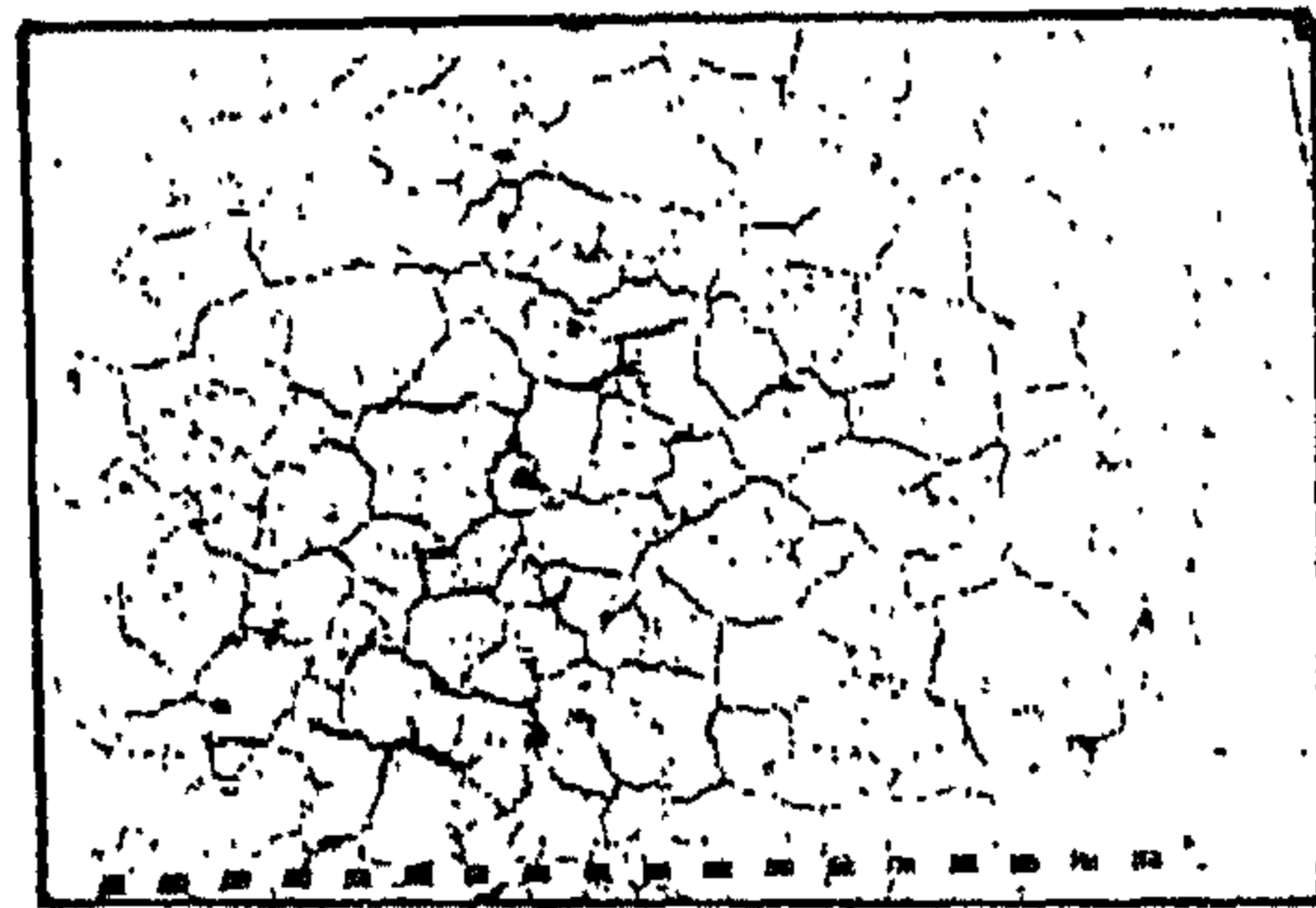
ز - شروخ عشوائية (عريضة)



ح - شروخ طولية وعرضية (متوسطة)



ط - شروخ عشوائية (عريضة)

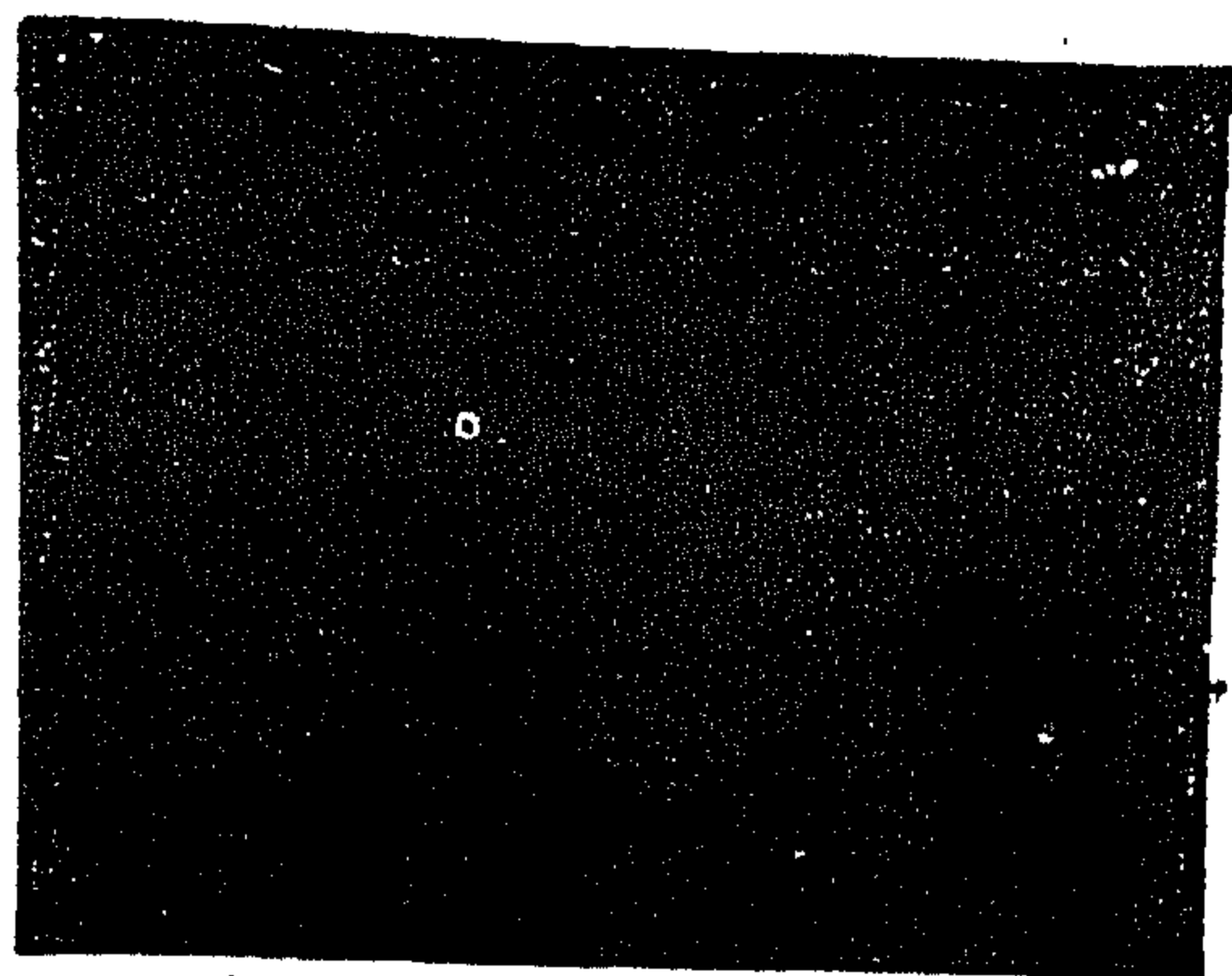


ي - شروخ شبكية (متوسطة)

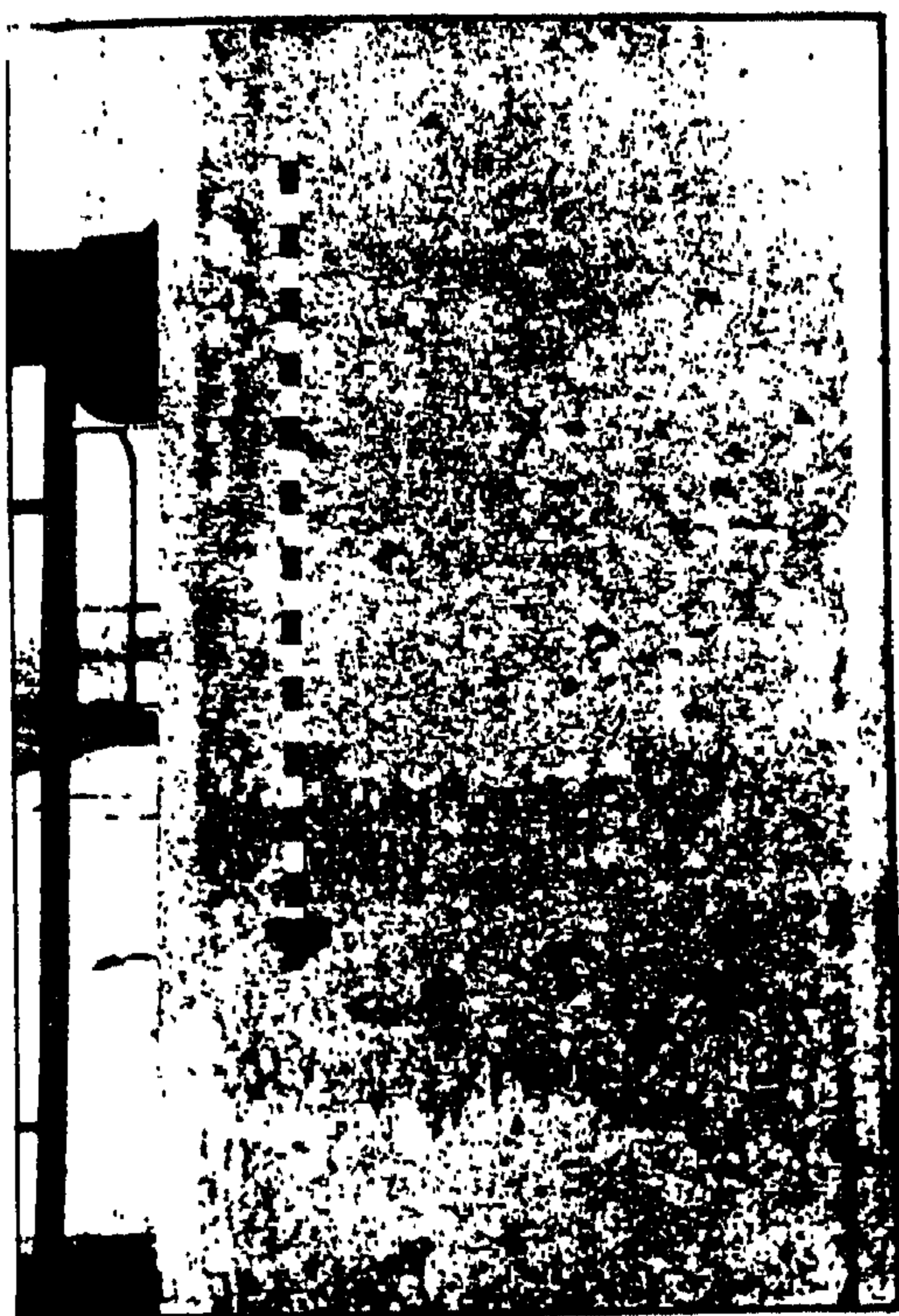
شكل (٢٠ / ٥) أشكال الشروخ المختلفة (٢)



ب - تساقط الخرسانة تاركة حفر سطحية



أ - حفر متوسطة



د - حفر صغيرة

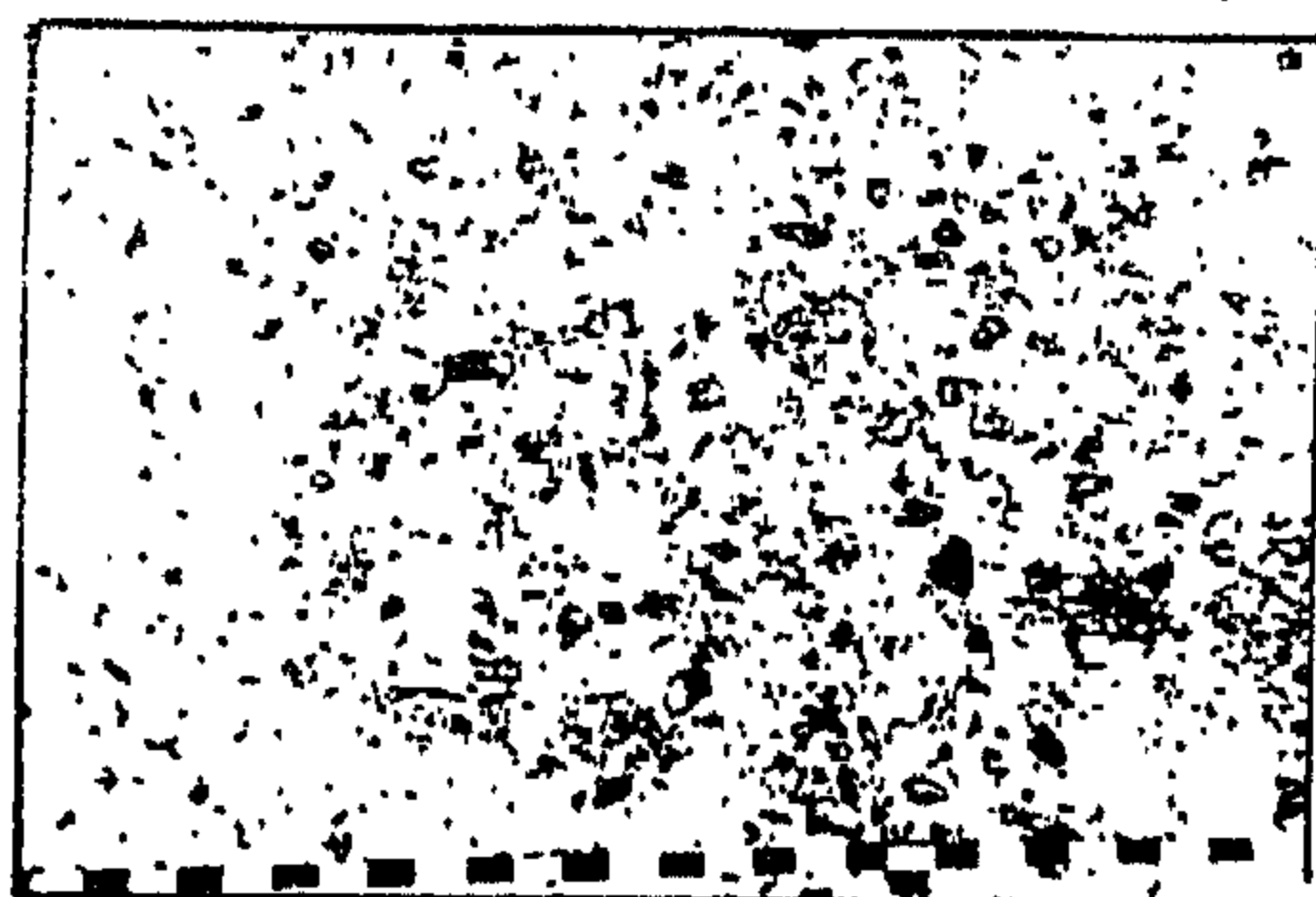


ج - حفر كبيرة

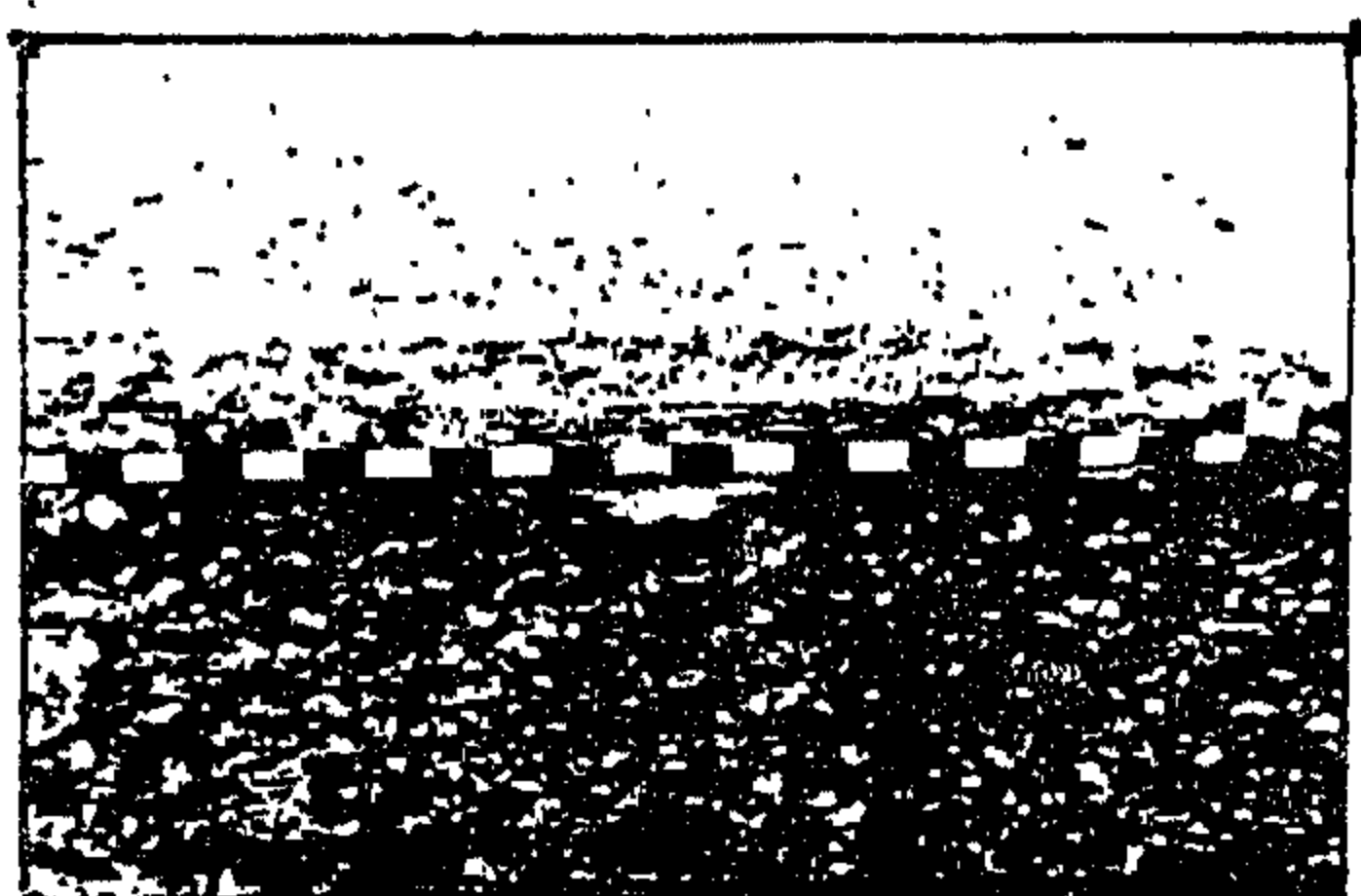
شكل (٢١ / ٥) الحفرة السطحية Pop outs



ب - تقشير متوسط



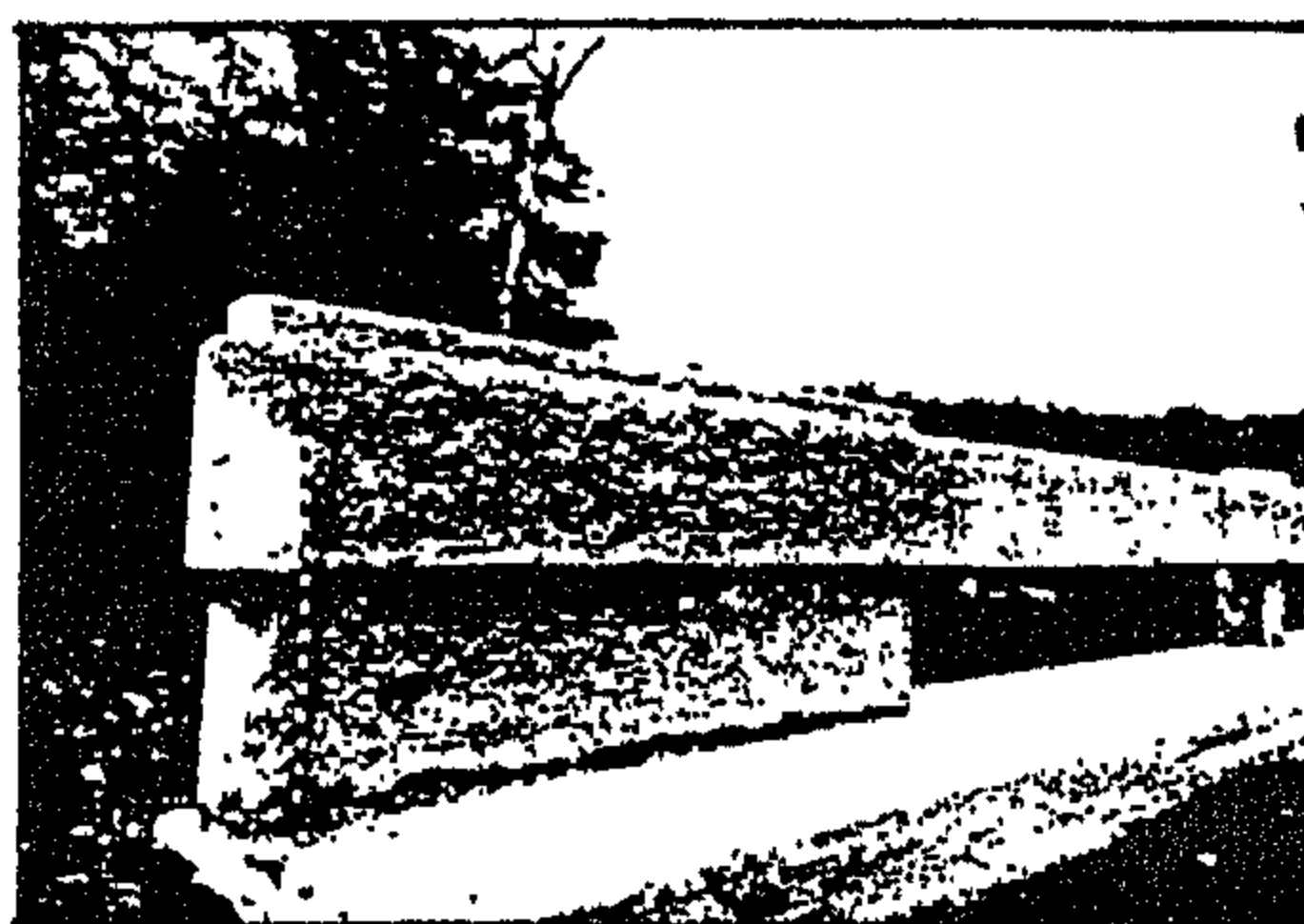
هـ - تقشير متوسط (صورة من قريب)



و - تقشير شديد (صورة من قريب)



أ - تقشير خفيف



ج - تقشير شديد

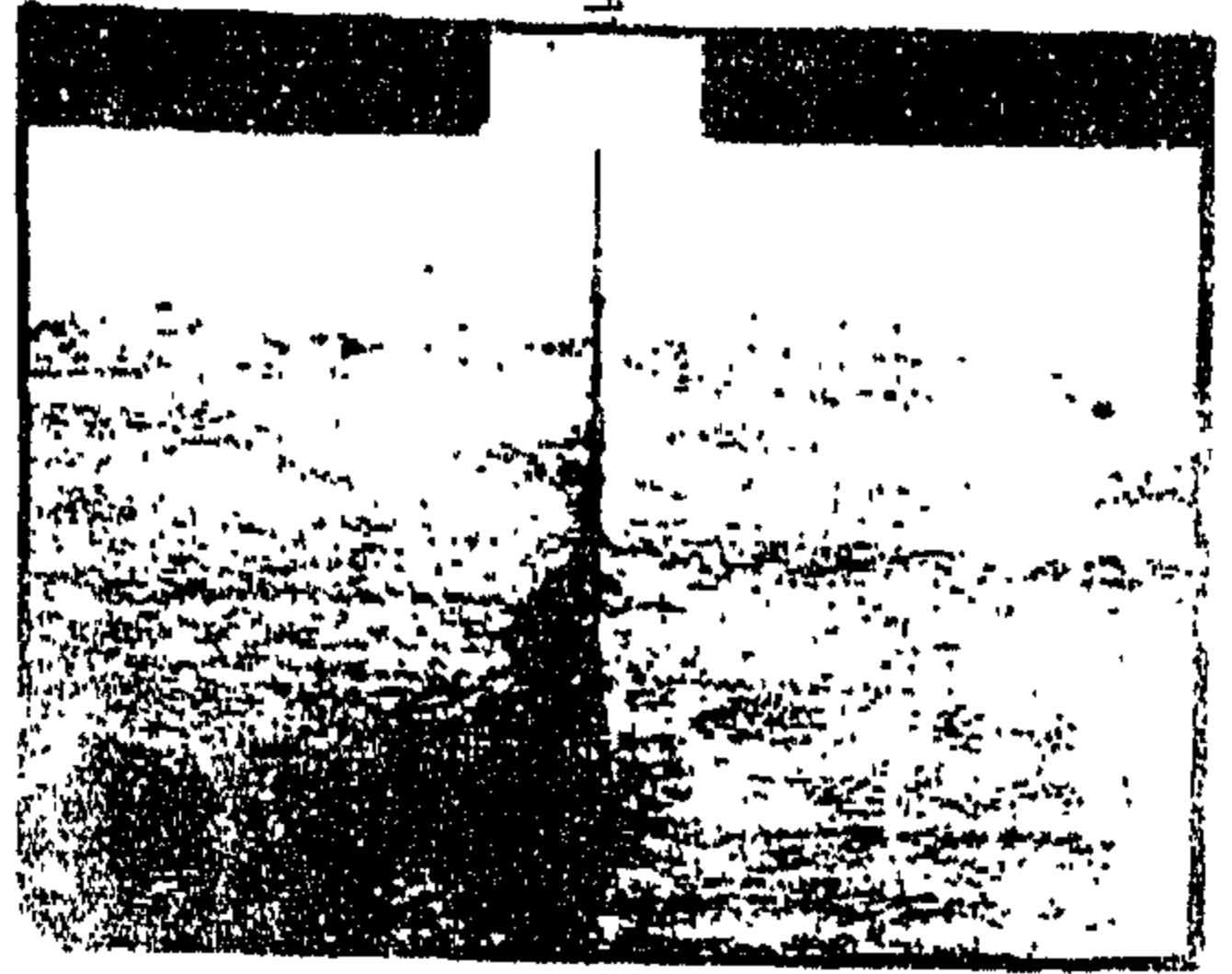


د - تقشير شديد جداً

شكل (٢٢ / ٥) أشكال التقشير Scalling



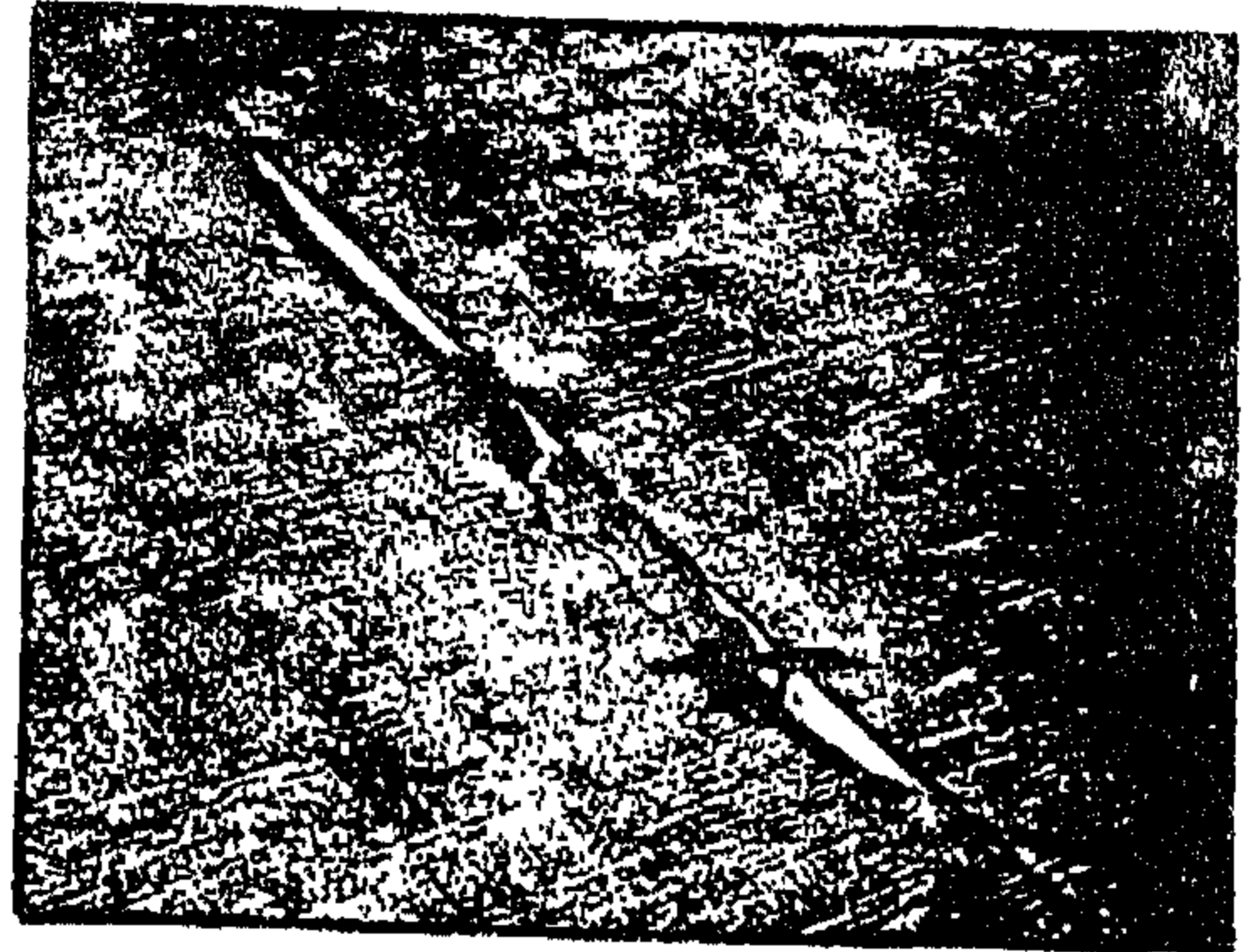
أ - تساقط بسيط



ج - تساقط عند وصلة رأسية



ب - تساقط كبير



د - تساقط عند وصلة بالأرضية

شكل (٢٣ / ٥) أشكال تساقط الخرسانة Spalling

المراجع

- 1 - pullar - Strecker , p . :
" Corrosion Damged Concrete , Assessment and Repair "
CIRA , London , 1987 , report TA 683 96 pp .
- 2 - ACI Committee 201 :
" Guide for Making a Condition Survery of Concrete in Service " Re-
port No . 201.1 R-68, American Concrete Intitute (Reaffirmed 1979) .
- 3 - British Standard Institution BS 1881 :
" Methods of Testing Concrete , Part 5 : 1970 " Methods of
Testing Hardened Concrete for Other than Strength "
British standards Institution , London , 1970 .
- 4 - The Institution of Structural Engineers :
" Appraisal of Existing Structures " , July 1980 , London ,
- 5 - Concrete Society working party :
" Non - Structural Cracks in Concrete " Concrete Society Tech . Re-
port No . 22 , pub , 53.088 , 1982 , 40 pp .
- 6 - Johnson , S. :
" Deterioration Maintenance and Repair of Structures " Mc Graw Hill
Book Co . , New York , 1965 .
- 7 - British Standards Institution BS 8110 : part 1 :
"Code of practice for the structural Use of Concrete" London , 1985 .
- 8 - British Standards Instition BS 5337 :
" Code of practice for the Structural Use of concrete for Retaining
Aqueous liquids " London 1976, 16 pp .

9 - Nawy , E . G . :

" Crack Control in Reinforced Concrete Structures " ACI Journal ,
Proc . Vol . 65, No 10, Oct . 1968, pp 825 - 836 .

10 - ACI Committee 318 - 83 :

" Building Code Requirements for Reinforced Concrete " ACI 318 -
83, American Concrete Institute , 1983 .

11 - Beeby , A. W. :

" Corrosion of Reinforced Steel in Concrete and its Relation to
Cracking " The Structural Eng . , Vol . 56 (A), No. 4, March 1978,
pp 77 - 81 .

12 - Campell - Allen , D . :

" The Reduction of Cracking in Concrete " Univ. of Sydney and
Concrete Association of Australia , Sydney , The Univ ., May 1975.
165 pp .

١٣ - حبيب زين العابدين:

« الحكم على سلامة المنشآت الخرسانية » - طبع بشركة العبيكان للطباعة والنشر -

المملكة العربية السعودية ١٩٨٧ .

الباب السادس

مواد الإصلاح والحماية وكيفية استخدامها

أ. م. د. منير كمال

مقدمة :

إن الاختيار السليم للمواد التي تستخدم في أعمال الإصلاح أو الحماية لمنشأ خرساني ، يمثل أهمية كبيرة لمدى جودة هذه الأعمال ومتانتها ، ولكن قبل تحديد مواد وأسلوب الإصلاح فلا بد من التعرف على نوعية العيوب التي تحتاج إلى إصلاح وأسباب حدوثها - راجع البابين الرابع والخامس - وتحديد الظروف البيئية المحيطة لتحديد المواد المناسبة والأسلوب الأمثل ليسترجع المنشأ قوته ، وليتحمل الظروف المحيطة لأطول فترة ممكنة ، وبقدر ما تمثل المواد المستخدمة وأسلوب تطبيقها أهمية كبيرة للإصلاح ، فإن إعداد الأسطح في العناصر التي سيتم علاجها أو إجراء عملية الحماية لها من أهم عناصر نجاح هذه العمليات - راجع إعداد الأسطح للإصلاح في الباب الثامن - وهناك عدة متطلبات يجب أن تتوفر في مواد الإصلاح والحماية المستخدمة ، وتختلف هذه المتطلبات باختلاف الحالة وباختلاف الظروف المحيطة بها ، وتحديد خواص مواد الإصلاح المطلوبة لعملية ما تحديدا دقيقا له نفس درجة أهمية تحديد نوع وجرعة الدواء المطلوب للمريض ، ولذا فإنه من الأهمية بمكان التعرف على خواص مواد الإصلاح والحماية الموجودة بالسوق وعدم الاكتفاء بما هو وارد في نشرة الشركة المنتجة .

وستعرض في هذا الباب أولا للبولىمرات والراتنجات للتعرف على ما هيتهما وتاريخ استخدامها مع الخرسانة المسلحة وما هي خصائصها - ولقد ازداد في الآونة الأخيرة ترديد كلمة البولىمرات أو الراتنجات كمواد إصلاح وتقوية وأصبحت شائعة الاستخدام في هذا المجال - ثم نعرض لأنواع المواد المستخدمة في إصلاح وحماية منشآت الخرسانة المسلحة ، وتنقسم هذه المواد بوجه عام إلى مواد أسمنتية ، ومواد أسمنتية عليها إضافات ومواد بولىمرية أو راتنجية ، ولا بد أن يكون المتعامل مع هذه المواد على دراية بخصائص

المونة الأسمنتية وأنواع الإضافات التي تستعمل لتحسين هذه الخواص وفوائدها ومضارها ، وكذلك خصائص المواد البوليمرية والراتنجية قبل التصلد وعلى المدى البعيد وتطبيقاتها في مجال إصلاح وحماية الخرسانة ، ونأمل أن يؤدي هذا العرض إلى أن يصبح التعامل مع هذه المواد قادراً على اختيار مادة الإصلاح المناسبة اختياراً مبنياً على أساس علمي صحيح .

١ - ماهى البوليمرات - الراتنجات - البلاستيك ؟

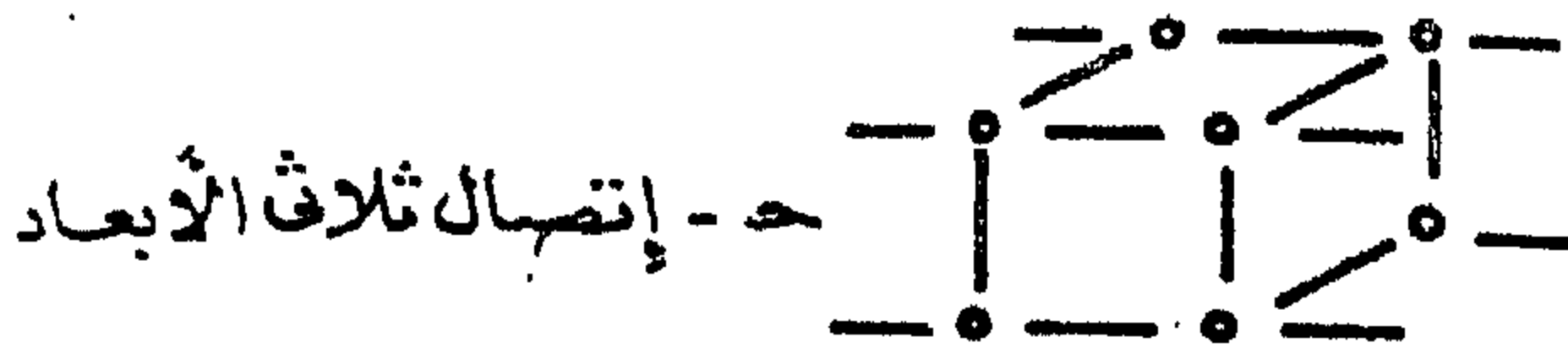
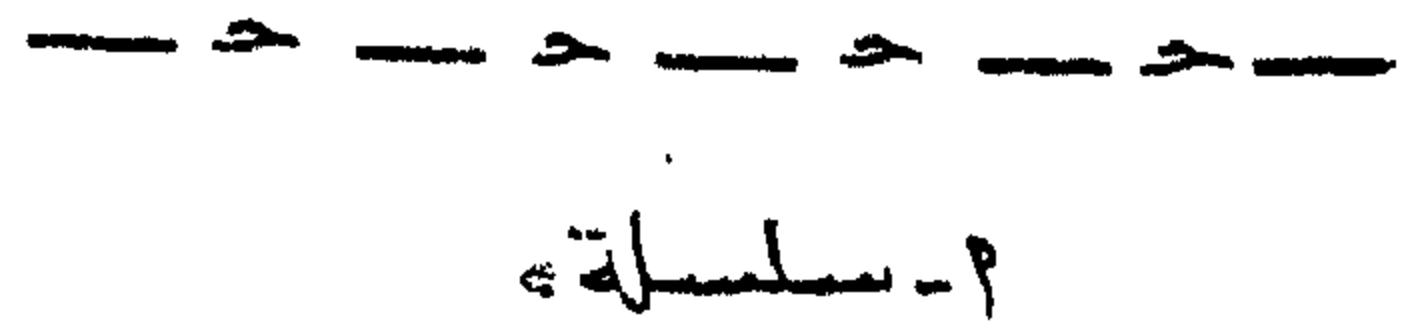
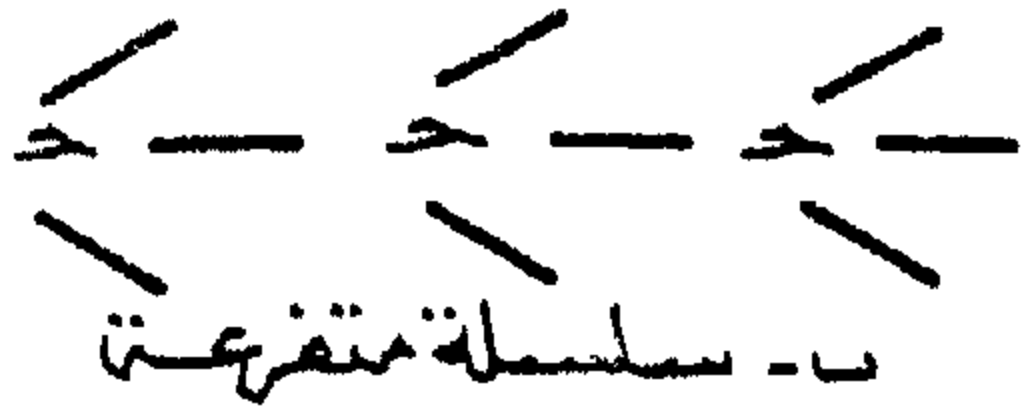
هذه الأسماء الثلاثة هى لعناصر كيميائية أساسها الكربون والأكسجين والنيتروجين ،
والتي تتواجد فى الماء والهواء والبتروول والفحم ، وهذه المواد تمتاز بأنها ذات وزن جزيئى
مرتفع يبلغ مئات الألوف .

ويطلق على الجزيء الواحد منها اسم المونومر (monomer) ، أما كلمة
بوليمر (Polymer) فتعنى متعدد الجزيئات ، وينتج باتصال المونومرات مع بعضها على
هيئة سلسلة طويلة (Chain) أو ذات تفرعات (Branched) أو يتم الاتصال فى الأبعاد
الفراغية الثلاثة (Cross-linking) - كما هو موضح بالشكل (٦ / ١) .

وإذا حدث اتحاد بين جزيئات من نفس النوع سمي البوليمر الناتج بالبوليمر المتشابه
(Homopolymer) ، أما إذا نتج البوليمر من اشتراك مونومرات مختلفة لإكساب
البوليمر الناتج صفات معينة ، فيسمى البوليمر المتشارك (Copolymer) ، ومن الأنواع
الشائعة للراتنجات راتنج فينيل أسيتات (Vinyl acetate) ، وراتنج فينيل كلوريد
(Vinylchlorid) وراتنج البولى استر (Polyester) ، وراتنجات الأكريليك
(Acrylics) وغيرها .

وفى بعض الأحيان يضاف إلى الراتنجات السائلة مواد مالئة (Fillers) ، وهى مواد
صلبة ذات مقاسات صغيرة مثل الرمل الناعم والأسمنت وكربونات الكالسيوم والميكا
والسيليكات والاسبستوس وغيرها ، وهى تضاف بغرض خفض ثمن المادة الناتجة ولتزيد
مقاومتها خاصة إذا كانت ستستخدم فى أغراض إنشائية .

كما أنه قد يضاف للراتنجات ملدنات (Plasticizers and plastic laminates) وهى
مواد تساعد على سهولة تشكيلها أو تعديل خواصها مثل خواص المرونة والصلابة ومقاومة
الرطوبة أو الفطريات وتحسين الخواص الكهربائية ومقاومة الاشتعال ، كما قد تستخدم
الأكاسيد المعدنية لإضفاء ألوان معينة للبلاستيك الناتج .



شكل (٦ / ١) أشكال إتصال جزيئات البوليمر

ومن هنا يمكن أن نخلص إلى أن البوليمرات أو الراتنجات هو اسم واحد لمواد عضوية ذات وزن جزيئي مرتفع ، وأن الجزيء الواحد يسمى مونومر .

أما البلاستيك فهو عبارة عن مادة تتكون من ثلاثة عناصر أساسية هي الراتنجات ذات الوزن الجزيئي المرتفع والمواد المائلة وبعض الملدنات ، وهي تنساب بالحرارة والضغط بدون أن يتغير تركيبها فتسهل صياغتها في أشكال مختلفة ، وتجمد على أشكالها بعد إزالة الحرارة أو الضغط عنها ، ولونها في حالة نقائها أبيض شفاف ، ويمكن إضافة أكاسيد معدنية إليها لإضفاء ألوان مختلفة .

ويمكن تقسيم البلاستيك عموماً إلى قسمين أساسيين حسب سلوكه تحت تأثير الحرارة ، القسم الأول يسمى الترموبلاستيك (Thermoplastic) وهو نوع يلين بالتسخين ويتجمد بالتبريد ، ويمكن إعادة تشكيله عدة مرات بتناوب التسخين والتبريد وتختلف أنواع هذا القسم إما بولي إيثيلين بسبب تركيبها الذاتي - مثل بولي إيثيلين المطاطي - أو بسبب إضافة بعض المواد المليئة لها ، ومن خواص الترموبلاستيك أنه يمكن أن تجرى عليه أعمال التشغيل التي تجرى على المعادن مثل الثقب والخراطة ، ويمكن أن نلصق به مواد مشابهة باستعمال

المذيبات ، ويمكن لحامه بواسطة الحرارة ، ومن أمثلة هذا النوع بولى إيثيلين وبولى استيرين وبولى أميد والنايلون ، أما القسم الثانى من البلاستيك فيسمى الثرموست (Thermosets) هو نوع يلين بالتسخين ولكن يتصلب نهائيا بالتبريد ، إذ أن التسخين الأول يحدث تفاعلا كيميائيا يربط السلاسل المكونة لجزيئاته تبادليا بروابط تمنع انزلاقها ، ومن ثم لا تناسب مع الحرارة أو الضغط ، كما أن المذيبات لا تتمكن من تفريقها ، ولذلك تصلح للاستعمال عند درجات الحرارة العالية نسبيا . ويمتاز هذا القسم بخواصه الكهربائية الجيدة وقوته ومقاومته للزحف والكيمائيات ، ومن أمثلة مواد هذا القسم البكاليت والبولى استر والإيوكسى والسيليكون ، هذا ويمكن تحسين خواص البلاستيك الثرموست بتقويته للحصول على البولى استر والإيوكسى والفيتول والسيليكون ، وذلك بأن تضاف إليه بعض المواد المائلة مثل كربونات الكالسيوم والميكا والسيليكا والاسبستوس ، ثم يقوى هذا المخلوط بمواد تقوية مثل طبقات من الورق أو القماش أو النباتات أو ألياف الزجاج أو غيرها من المواد التى تتشرب بالراتنجات ، ثم تتكلس أثناء التسخين لتنتج ألواحاً أو قضباناً أو أشكالاً أخرى ، ويمتاز الثرموست المقوى بمقاومة كبيرة للشد والضغط والصدم والزحف والحرارة والماء والكيمائيات ، ومن أمثلة هذا النوع البولى استر المسلح بألياف الزجاج .

ومن الاستعمالات الإنشائية للراتنجات والبلاستيك فى مجال المنشآت الخرسانية الآتى :

١ - سائل أو مستحلب كإضافات للخرسانة للحصول على خواص معينة ، مثل القابلية العالية للتشغيل ومقاومة الشد والانحناء والصدم .

٢ - راتنج سائل كوسط لآحم بدلا من الأسمنت لإنتاج الخرسانة أو المونة الراتنجية .

٣ - الخرسانة المغلفة بالبولىميرات ، سواء سطحية أو جزئيا أو كلياً .

٤ - دهانات لغلق المسام السطحية ومنع تسرب المياه والسوائل الأخرى .

٥ - لواقص للخرسانات حديثة الصب مع التى تم صبها مسبقا ، أو للصلق الوحدات سابقة الصب ، أو للصلق الخرسانة السابقة الصب مع حديد التسليح .

٦ - رقائق من البلاستيك فى الفواصل لمنع تسرب المياه .

٧ - ألياف بلاستيك أو أسياخ بلاستيك لتسليح الخرسانات .

٨ - عمل فرم لأعمال الخرسانة .

٢ - ما هي الخرسانات البوليمرية ؟

من الجدير بالذكر أن تزاوج البوليمرات أو الراتنجات أو البلاستيك مع الخرسانات والمونة قد تم إدراجه عالميا تحت عائلة كبيرة باسمها الخرسانات البوليمرية - Polymer concrete ، والخرسانات البوليمرية هي خرسانات مركبة ، تم فيها إدماج البوليمرات مع الخرسانة التقليدية المكونة من ركام صغير وكبير وعجينة أسمنت - كمادة رابطة - بأسلوبين مختلفين ، ونتاج كل أسلوب كانت له تسمية خاصة به ، كما أن إحلال الراتنجات محل عجينة الأسمنت كمادة رابطة كان حصيلة منتج ثالثا ، وهذه المنتجات الثلاثة هي :

١ - الخرسانة البوليمرية الأسمنتية (PCC) Polymer cement concrete

٢ - الخرسانة الأسمنتية المغلفة بالبوليمرات

Polymer Impregnated concrete (PIC) .

٣ - الخرسانة البوليمرية أو الراتنجية أو البلاستيكية

Polymer concrete, Resin concrete or Plastic concrete .

٢ / ١ - الخرسانة البوليمرية الأسمنتية : (pcc) Poliymer Cement Concrete

الخرسانة البوليمرية الأسمنتية تصنع بخلط الأسمنت والركام ، ويضاف إليها ماء الخلط المضاف إليه الراتنج ، ويتم الخلط الجيد والصب في القوالب والمعالجة ، ويعتبر الراتنج في هذه الحالة إضافة لتحسين خواص محددة للخلطة الخرسانية في حالتها الطازجة والمتصلدة ، والراتنج المضاف يكون من عبوتين : إحداهما تحتوى على المونومر ، والأخرى على المصلد اللازم للتفاعل الكيميائي ، وإتمام عملية البلمرة (اتحاد الجزيئات) ، وتتم عملية البلمرة أثناء عملية التصلد للخرسانة ، ويجب لذلك أخذ الحذر بألا تعطل عملية البلمرة طور الإمالة للأسمنت ومتطلباتها ، ومن المونومرات الشائعة الاستعمال كمضافات للخرسانة ما يلي :

- ١ - فينيل الاسيتات Vinyl acetates .
- ٢ - فينيل الكلوريد Vinyl chlorides .
- ٣ - بروبيونات الفينيل Vinyl propionate .
- ٤ - فينيل البروبيونات Acetate of vinyl meleate .
- ٥ - الأكريلات Acrylates .
- ٦ - إيثيلين جليكول Ethylene glycoles .
- ٧ - مستحلبات البيتومين Bitumine emulsion .
- ٨ - المطاط Rubber .
- ٩ - الإيبوكسيات Epoxy .

ويجب التنويه إلى أن النتائج التي تم الحصول عليها نتيجة استخدام المونومرات كإضافة للخرسانات العادية أثناء الخلط ، قد أعطت عموماً تأثيراً محدوداً على خواصها الميكانيكية ، وإن كان التأثير أكثر وضوحاً على القوام وبالتالي القابلية للتشغيل للخرسانة في حالتها الطازجة أما خواصها الأخرى فقد ازدادت مقاومتها ومتانتها زيادة بسيطة ، وقد تنخفض مقاومة المونة للضغط في العمر المبكر - حتى عمر ثلاثة أشهر - كما يظهر من شكل (٦ / ٢) - أو عند استخدام نسب زائدة من البوليمر ، وقد تنخفض مقاومة القص كذلك ولكن مقاومة الشد والتماسك تتحسن - كما يظهر في شكل (٦ / ٣) - ويمكن إرجاع ذلك كما سبق الإشارة إلى إعاقه طور البلمرة للمونومر المستخدم لطور إمالة الأسمنت نتيجة تداخله معه ، لأنه قد لا يتوافق مع الوسط المائي اللازم لإمالة العجينة الأسمنتية وبالتالي اكتساب الخرسانة لمقاومتها وخواصها في مرحلة التصلد .

ومن الجدير بالذكر أن العلماء الروس قد توصلوا إلى خرسانة أسمنتية بوليمرية ذات خواص عالية ، بإدماج فورفريل الكحول فورفريل (Furfryl alcohol) وهيدروكلوريد الإيثيلين في خلط الخرسانة ، مما ينتج عنه خرسانة كثيفة ، ومعدومة الانكماش ، وذات مقاومة عالية للصدأ ، وذات مسامية منخفضة ، ومقاومة للاهتزازات .

كما أن العلماء الأمريكيين قد قاموا باختيار عدة مونومرات كإضافات للخرسانات المستخدمة في منشآت محطات تنقية المياه المالحة ، ووضح من هذه الدراسات أن أعلى

النتائج التي توصلوا إليها مقارنة بالخرسانات العادية هي تلك التي استخدم فيها راتنج الإيبوكسي كإضافة للخرسانة .

٢ / ٢ - الخرسانة الأسمنتية المغلغلة بالبوليمرات

Polymer Impregnated Concrete (PIC) :

الخرسانة المشبعة أو المغلغلة بالبوليمرات هي خرسانة أسمنتية متصلدة سابقة الصب ، تم غلغلتها بواسطة مونومرات ذات لزوجة منخفضة ، ثم تتم البلمرة لهذه المونومرات بعد ذلك وهي داخل الخرسانة .

و أول عينة من الخرسانة المغلغلة بالبوليمرات تم إنتاجها في معامل بروكهوفن القومية (Brookhaven National Laboratory) في عام ١٩٦٥ ، كما أن أول قياسات لخواصها الطبيعية ومتانتها قد تمت في مكتب الولايات المتحدة للاستصلاح - U.S Bureau of Rec-lamation في عام ١٩٦٦ .

ولقد أصبحت الخواص الأساسية أو سلوك هذا النوع من الخرسانات معروفة جيدا في وقتنا الحاضر ، كما أن هذا النوع من الخرسانات مناسب للعديد من التطبيقات التي تستلزم وجود خرسانات قوية ومتينة ، ولقد تم تقسيم الخرسانات المغلغلة بالبوليمرات إلى ثلاثة أنواع رئيسية ، وهي : الخرسانة المغلغلة كليا ، والخرسانة المغلغلة جزئيا ، والخرسانة المغلغلة سطحيا (Totally, partially and surface Impregnated concrete) .

٢ / ٢ / ١ - الخرسانة المغلغلة كليا :

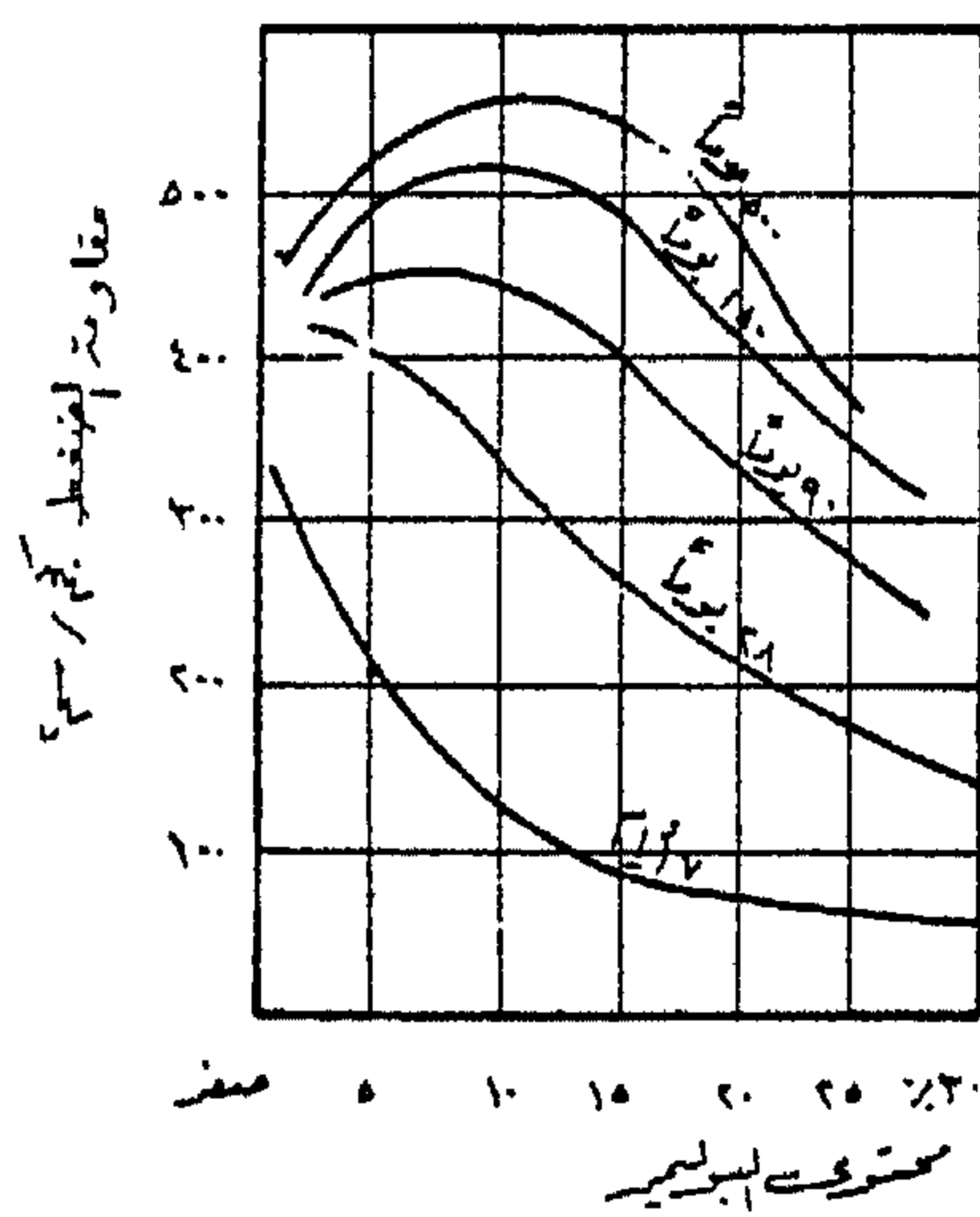
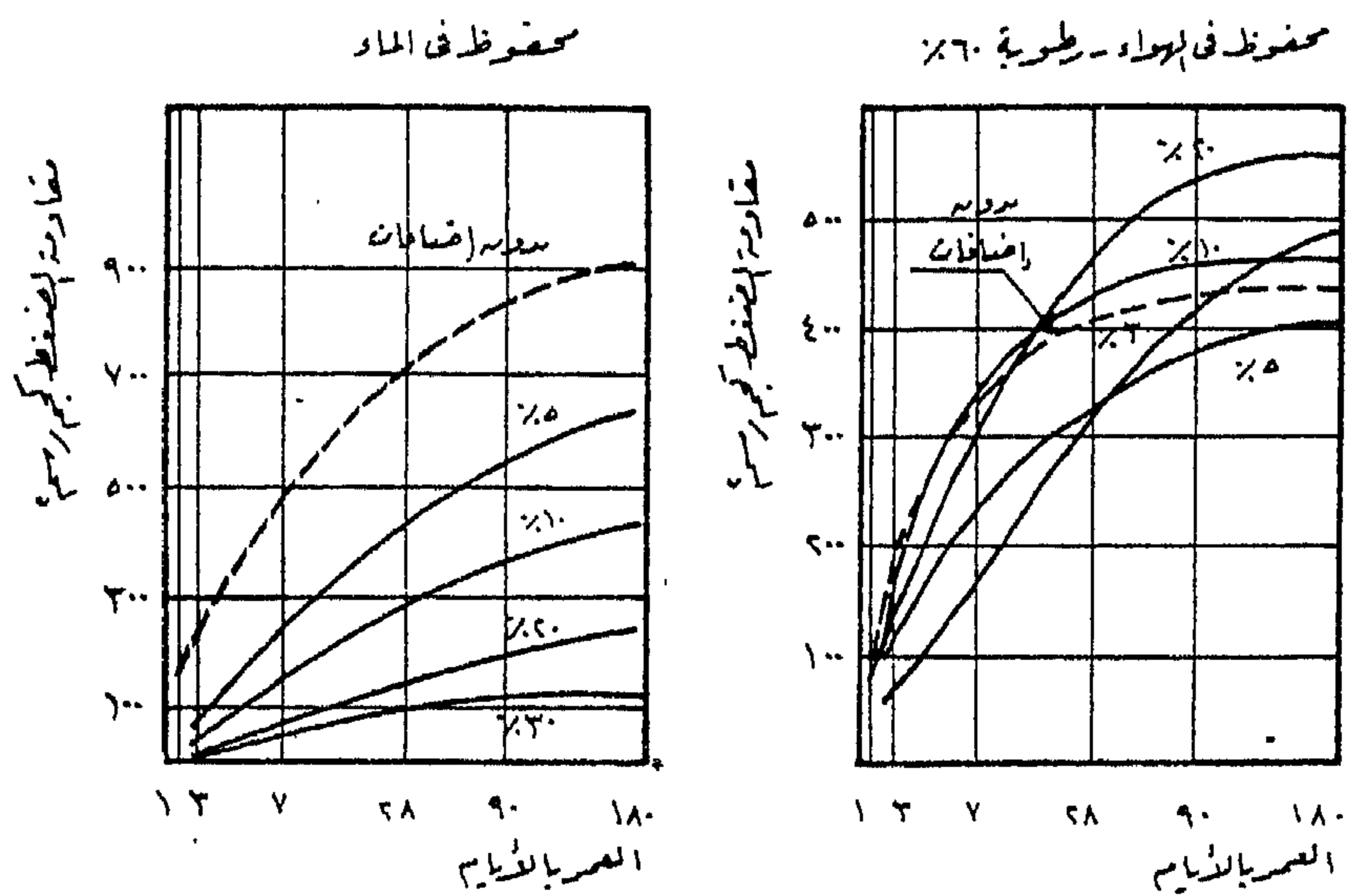
هذا النوع يستخدم لمقاومة درجات الحرارة العالية أو عند التعرض إلى المياه المالحة أو المقطرة ، كما يستخدم في درجات الحرارة العادية مع الخرسانة التقليدية العادية لزيادة كفاءتها والمونومرات التي تستخدم تشمل :

• الميثيل ميثاكريلات (MMA) Methyl methacrylate ..

• الستيرين Styrene .

• الأكريلونيتريل acrylonitrile .

• الكلوروستيرين Chlorostyrene .

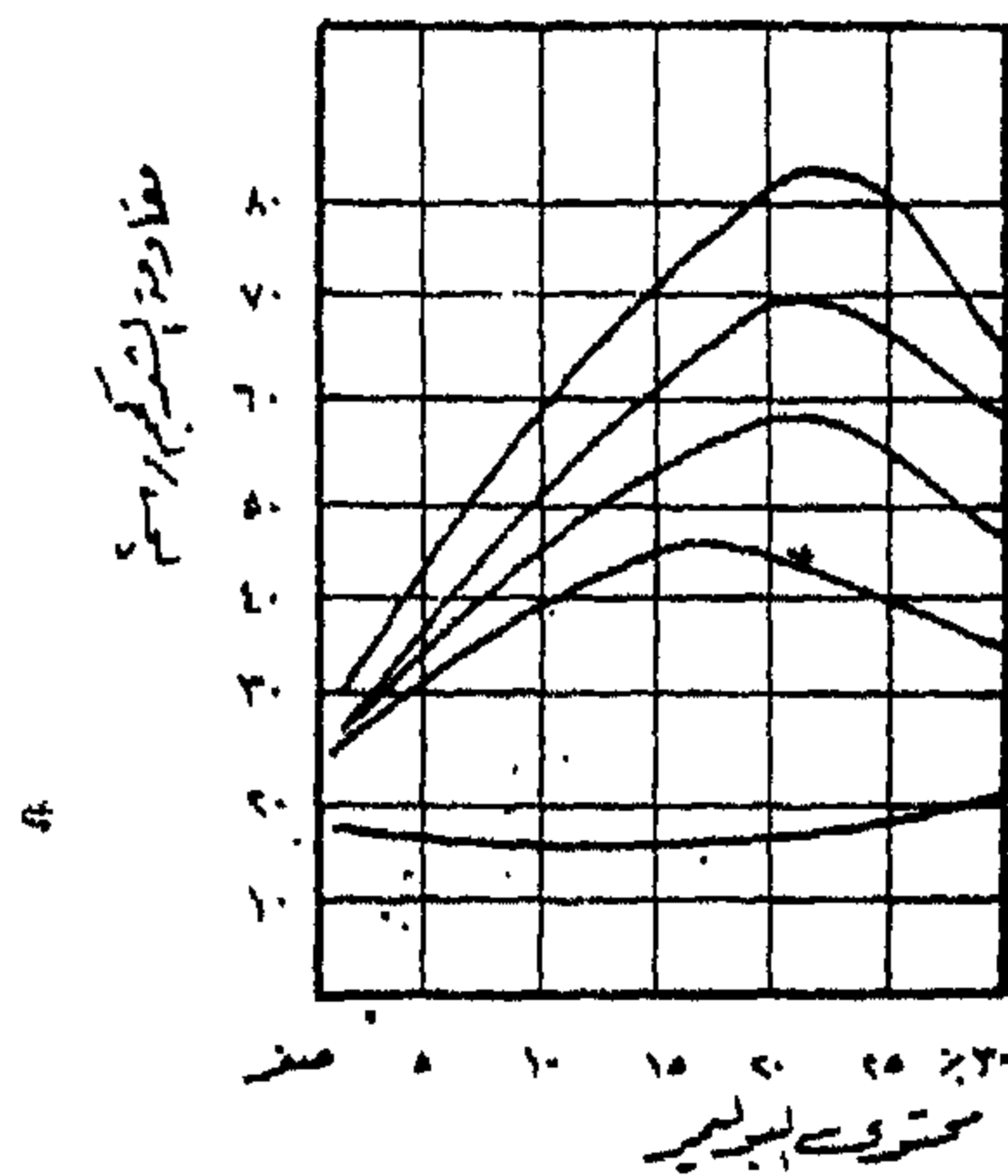


نه اسمنتية (٣ : ١)

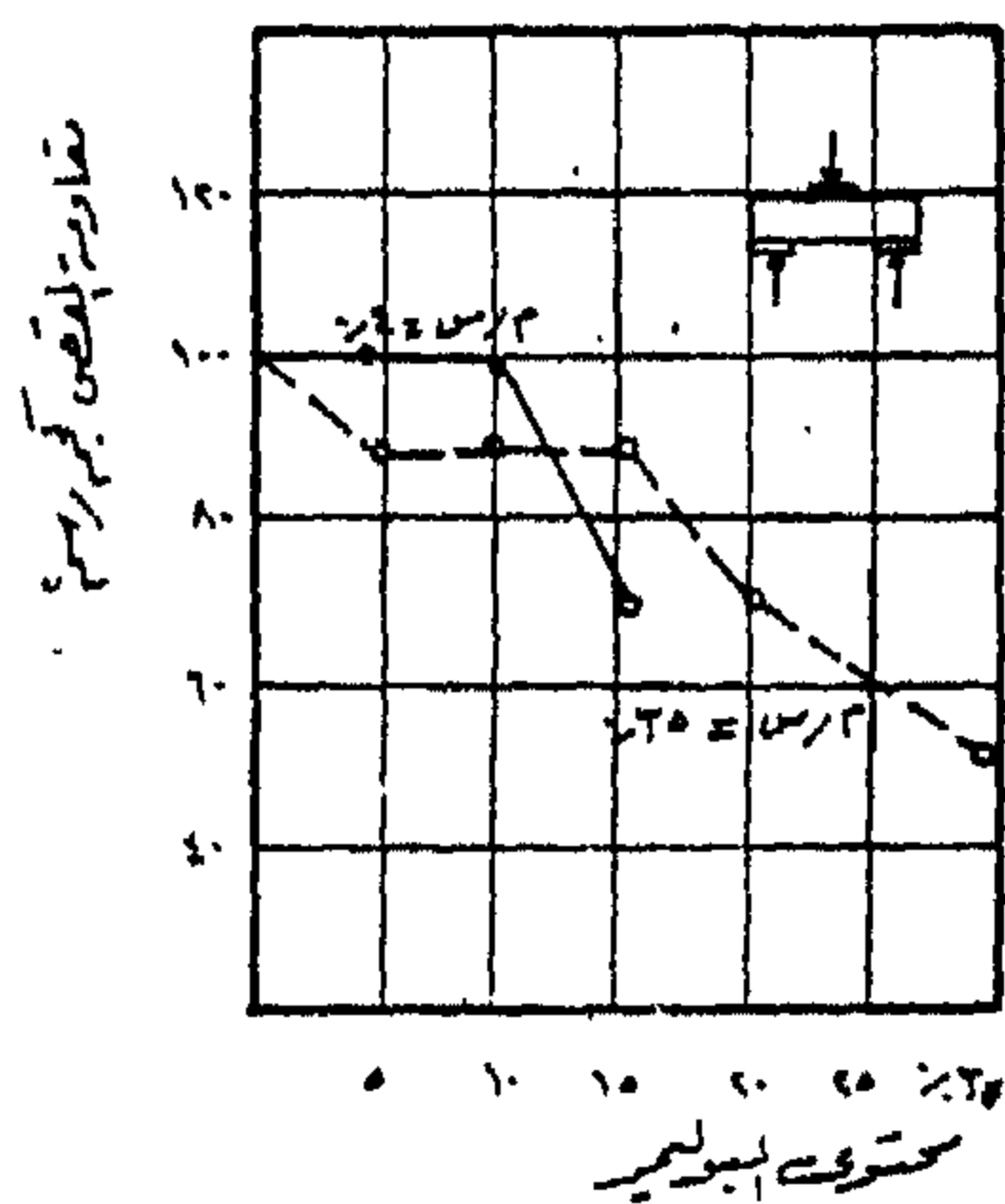
م / س ٣

شكل (٦ / ٢) تأثير محتوى أسيتات البولي فينيل على مقاومة الضغط

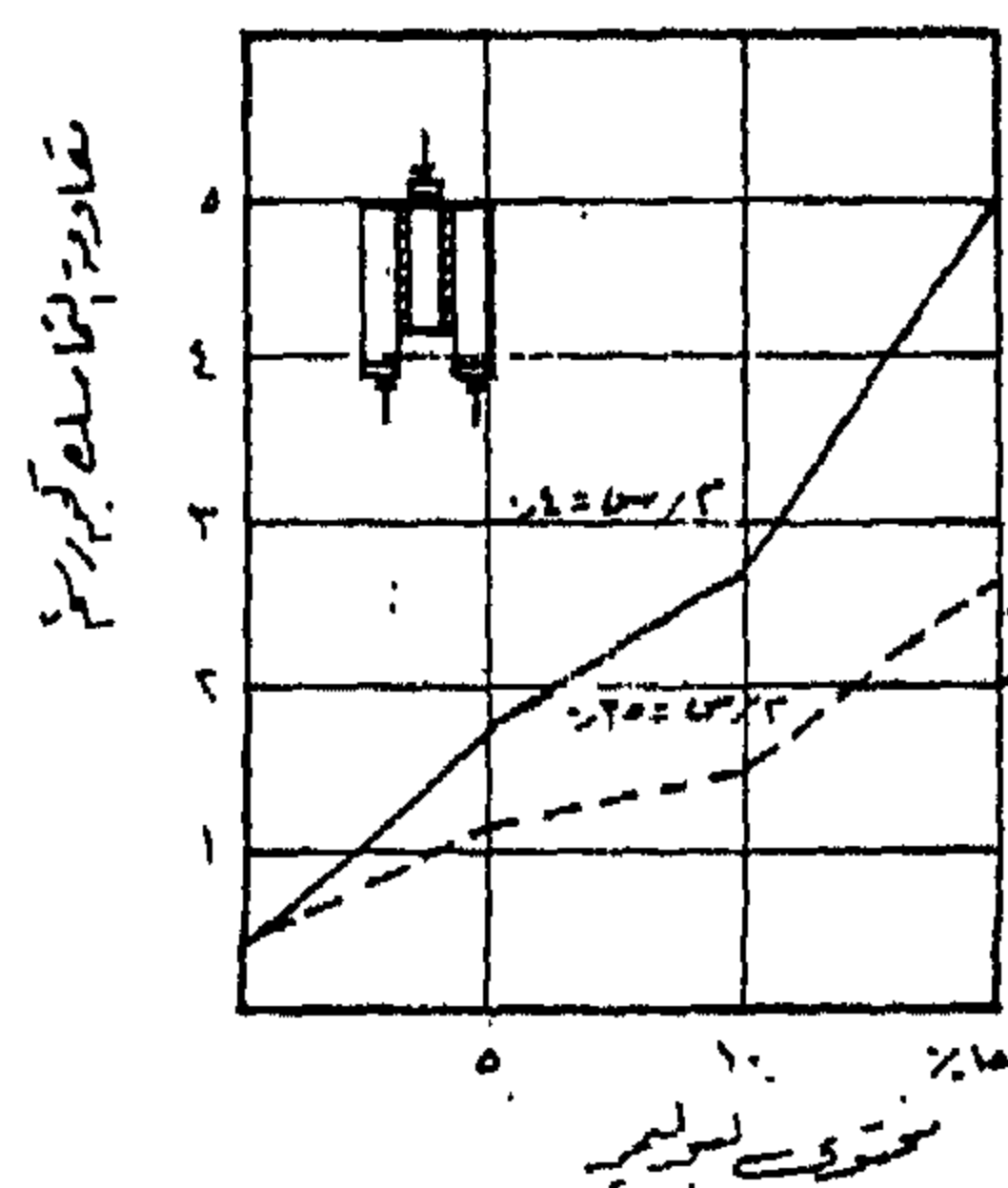
لمونة الأسمنت البولورية (٤) ، (٥)



أ- تأثيره على مقاومة الضغط



ب- تأثيره على مقاومة الانحناء



ج- تأثيره على مقاومة الشد

شكل (٦ / ٣) تأثير محتوى أسيتات البولي فينيل على مقاومة الضغط لمونة الأسمنت البولي ميري (٥) ، (٦)

* الميثيل ميثاكريلات وثلاثى ميثيل أولبروفين ثلاثى الأكريلات (TMPTMA) -
(MMA) .

* بولى استر - سترين (١٠٪ - ٩٠٪) .

وأغلب الأبحاث الجارية تمت باستخدام الميثيل ميثاكريلات (MMA) ومركب البولى استر والإستيرين ، ويتم بدء تنشيط عملية البلمرة للمونومرات إما بالإشعاع (Radiation) أو بالحرارة (Thermal catalytic method) .

وبالنسبة للتطبيقات فى درجات الحرارة العالية مثل محطات المياه المالحة وتقطير المياه .
والتي تتطلب عمل خرسانات تقاوم درجة حرارة حتى ١٤٣ ° مع التعرض إلى الماء المالح أو الماء المقطر ، فإن الأبحاث الأولية اتجهت إلى استخدام خرسانات ذات مقاومة عالية ، ولكن الأبحاث المتعاقبة أوضحت أن هناك فروقا طفيفة فى خواص الخرسانات المغلغة بالبوليمرات عند استخدام خلطة خرسانية ذات مقاومة عالية أو خرسانة قياسية ، وهناك تركيبان من المونومرات أثبتت نتائج جيدة وهى تركيبة من الستيرين وثلاثى ميثيل أولبروفين ثلاثى ميثيل الأكريلات بنسبة (٦٠٪ - ٤٠٪) (40% - 60%) (TMPTMA) - Styrene ، وكذلك تركيبة من الميثيل ميثاكريلات - ثلاثى ميثيل أولبروفين - ثلاثى ميثيل الأكريلات بنسبة (٧٠٪ - ٣٠٪) ويتم بدء البلمرة بالإشعاع أو بالعوامل الحرارية .

خواص الخرسانة المغلغة كليا :

أوضحت الدراسات أن استخدام جميع مركبات المونومرات السابق ذكرها فى أغراض الغلطة للخرسانة، قد أظهر تحسنا ملموسا فى خواص الخرسانة ، وإن كان هذا التحسن يختلف فى درجته حسب نوع المونومر ، كما أن أساليب البلمرة سواء بالإشعاع أو المواد الكيماوية لها تأثيرات متباينة على الخرسانات سواء المغلطة بالبوليمرات أو غير المشبعة بالبوليمرات ، وفى نتائج التجارب التى أجريت لإظهار الخواص العامة للخرسانات المغلطة بالبوليمرات ، فإن الميثيل ميثاكريلات يتخذ كنموذج للمونومرات الأكثر استخداما فى هذا المجال .

أ - الخواص الميكانيكية :

مقاومة الضغط :

مقاومة الضغط للخرسانة المغلطة بالمثيل ميثاكريلات (MMA) ، والتى تمت بلمرتها

بالإشعاع ، تحسنت بدرجة ملحوظة ، ووصلت إلى ٢٨٥ ٪ عند درجة تشبع بالبوليمر مقدارها ٦,٤ ٪ مقارنة بالخرسانة غير المغلغلة ، وقد ارتفعت هذه النسبة لتصل إلى ٣١٥ ٪ عند زيادة درجة التشبع بالبوليمر إلى ٦,٨ ٪ بالوزن من الخرسانة - كما هو واضح بالشكل رقم (٤/٦) .

مقاومة الشد :

وتحسنت مقاومة الشد للخرسانة بغلغلتها بالبوليمرات ، وازدادت بزيادة مقدار التشبع ، إلا أن نسبة التحسن في مقاومة الشد كانت أقل قليلاً من التحسن في مقاومة الضغط ، حيث بلغت ٢٥٦ ٪ عند درجة تشبع بالبوليمر مقدارها ٦,٤ ٪ .

معايير المرونة :

وصل معايير المرونة للخرسانة المغلغلة بالبوليمر عند درجة تشبع مقدارها ٦,٤ ٪ إلى ١٦٠ ٪ بالمقارنة بالخرسانة غير المغلغلة ، ووصل معايير المرونة للعينات التي شبعت بدرجة ٦,٨ ٪ إلى ١٨٠ ٪ .

مقاومة التجمد والذوبان :

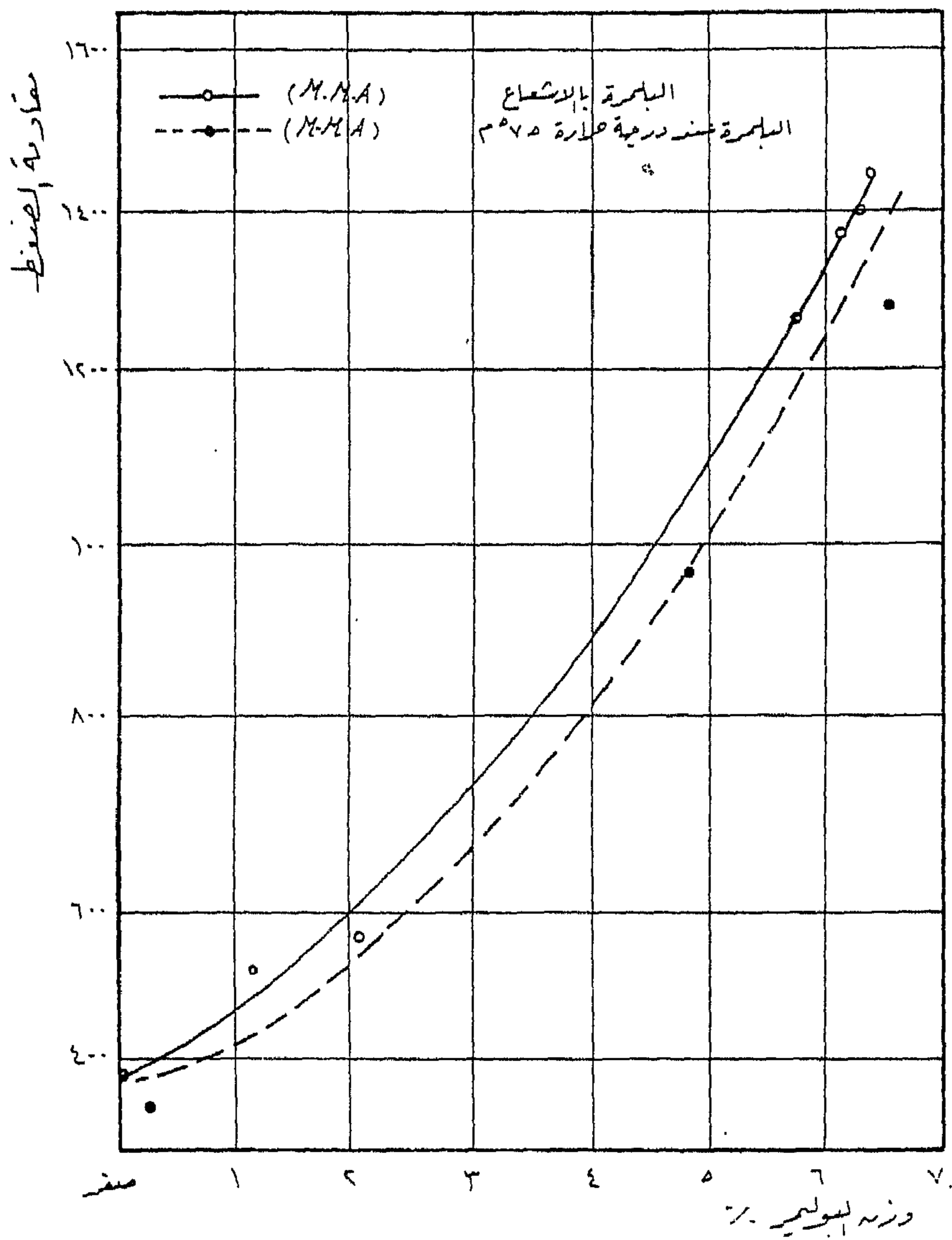
العينات الخرسانية غير المغلغلة التي تعرضت إلى ٥٩٠ دورة تجمد عند درجة حرارة - ١٢ م لمدة ساعة ونصف ، يليها ذوبان عند درجة ٢١ م لمدة ساعة ونصف ، أظهرت فقداً في الوزن مقداره ٢٦,٥ ٪ ، أما العينات المغلغلة بالبوليمر لدرجة تشبع مقدارها ٦,٧ ٪ فقد سجلت فقداً مقداره ٠,٥ ٪ فقط في الوزن بعد تعرضها لعدد ٥١٢ دورة تجمد وذوبان .

مقاومة البرى :

زادت مقاومة البرى للخرسانة المغلغلة زيادة ملحوظة عن تلك التي لم يتم غلغلتها بالبوليمرات ، حيث وصل مقدار المقاومة للخرسانة المغلغلة بدرجة ٥,٢ ٪ بالوزن إلى ثلاث مرات الخرسانة غير المغلغلة وارتفع هذا المقدار إلى خمسة عشر مرة عند الوصول إلى تشبع بالبوليمر مقداره ٦,٣ ٪ .

امتصاص الماء :

وصل امتصاص الخرسانة المغلغلة بالبوليمرات بدرجة تشبع بالبوليمر مقداره ٥,٩ ٪



شكل (٦ / ٤) تأثير درجة التشبع بالبوليمر على مقاومة الضغط

للخرسانة المغلفة كلياً (٢٣)

بالوزن إلى ٥٪ فقط من امتصاص الخرسانة غير المشبعة بالبوليمرات .

نفاذية الماء :

اتضح أن نفاذية الخرسانة المغلغة بالبوليمرات ضئيلة للغاية حتى مع نسب التشبع المنخفضة .

الزحف :

ذكرت بعض الأبحاث أن مقدار انفعال الزحف للخرسانة المغلغة بالمشيل ميثاكريلات كانت صغيرة جداً عند تعرضها إلى إجهادات كبيرة ، وإن هذه الانفعالات وصلت إلى درجة متناهية في الصغر عند تعرض العينات لإجهادات صغيرة ، وأظهرت أبحاث أخرى أن بعض العينات التي تعرضت إلى أحمال ضغط ثابتة لم يحدث لها انفعالات ضغط مع الزمن بل حدث لها تمدد .

ب - مقاومة الكيماويات :

مقاومة الأحماض :

تفوق الخرسانة المغلغة بالبوليمرات مثيلتها غير المغلغة في المقاومة الكبيرة لحامض الهيدروكلوريك - ذى التركيز ١٥٪ - وخاصة عند التعرض للحامض لفترات كبيرة .

مقاومة الكبريتات :

بعد ٢٤ شهراً من تعرض الخرسانة العادية للكبريتات انهارت تماماً ، فى حين أنه لم تظهر أية علامات لتأثر الخرسانة المغلغة بالبوليمرات .

الماء المقطر :

حدث تغير فقط فى لون الخرسانة المغلغة بالبوليمرات ، ولم يحدث أى تدهور فى الخواص الميكانيكية عند تعرضها لمدة عشرة شهور لماء مقطر فى درجة حرارة ٩٧°م ، فى حين أنه حدث تآكل شديد فى الخرسانة العادية المعرضة لنفس الظروف مما أظهر الركام الكبير من داخل الخلطة الخرسانية .

٢ / ٢ / ٢ - الخرسانة المغلغة جزئياً :

تم عمل الخرسانة المغلغة جزئياً كأسلوب لتبسيط عملية الغلغلة وتقليل تكاليف الخرسانة المنتجة ، وذلك لاستيفاء متطلبات التطبيقات التى تتطلب المتانة أكثر من القوة

ويتبع فى تصنيع هذه الخرسانة نفس الخطوات المتبعة فى تصنيع الخرسانة المغلفة كلياً ، مع حذف عملية الغلغلة مع التفريغ والضغط أثناء الغمر ، كما أنه اتضح أن إدماج عمليتى غلق المسام الخارجية والبلمرة فى الماء الدافئ تعطى نتائج متجانسة ، ويمكن استخدام المونومات ذات اللزوجة العالية نسبياً مثل :

* بولى استر سترين .

* إيبوكسى سترين .

* محلول الميثيل ميثاكريلات البوليمرى .

* مونومات الميثيل ميثاكريلات .

وشكل (٦ / ٥) يبين تأثير زمن الغمر على عمق الغلغلة .

الخواص الميكانيكية للخرسانة المغلفة جزئياً :

اتضح أن عمق الغلغلة بالمونومر وبالتالى مقدار التشبع به يؤثر تأثيراً كبيراً على الخواص الميكانيكية للخرسانة المغلفة :

مقاومة الضغط :

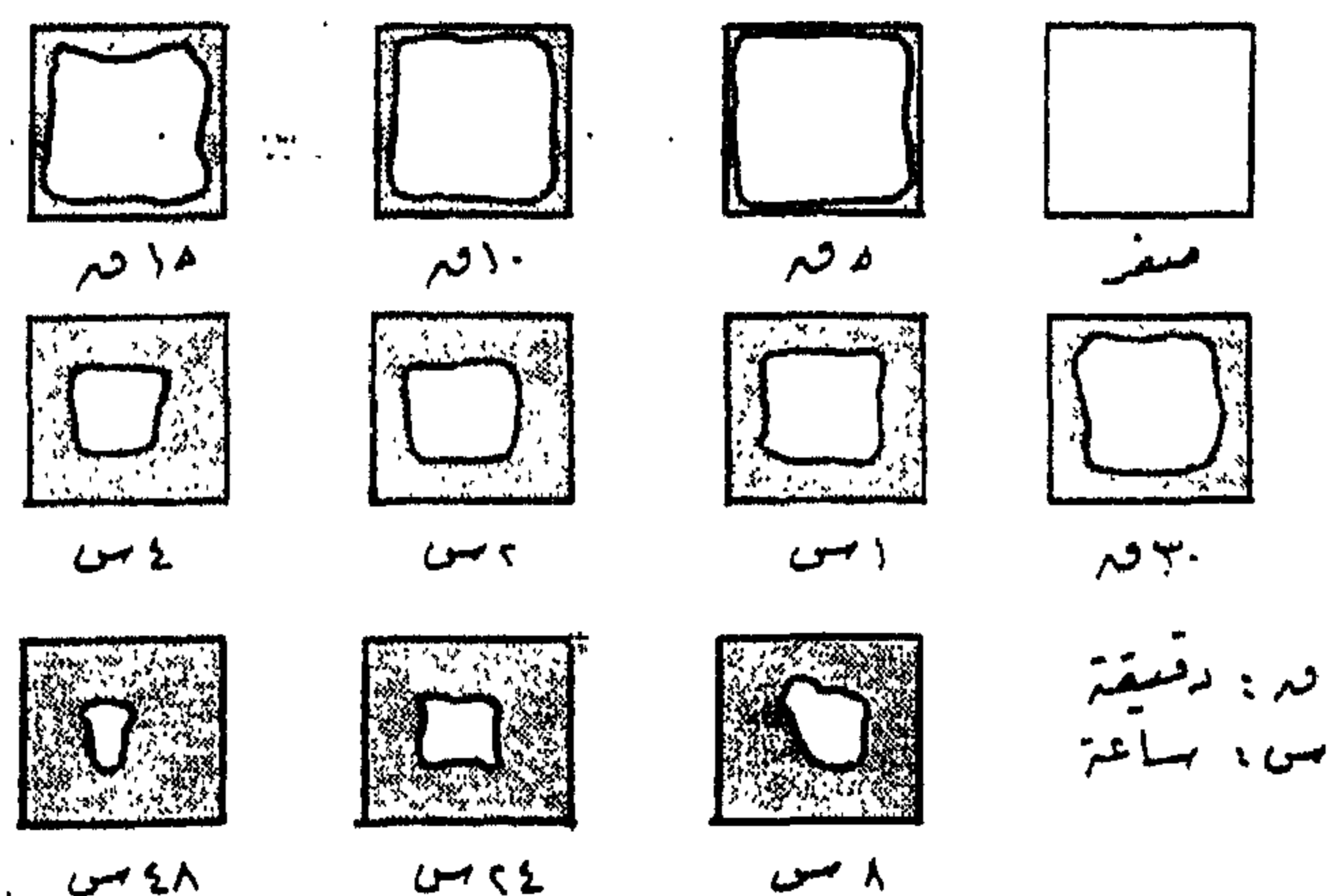
الخرسانة المغلفة بالمونومر - الميثيل ميثاكريلات - والتي استعمل فيها البنزول بيروكسيد كبادئ لعملية البلمرة وتمت عملية البلمرة فى ماء درجة حرارته 70°C ، وتم تشبعها بالبوليمر بنسبة ٤,٨٢ ٪ ، فإن مقاومتها للضغط زادت بنسبة ٢٤٩ ٪ عن مثيلتها غير المغلفة .

مقاومة الشد :

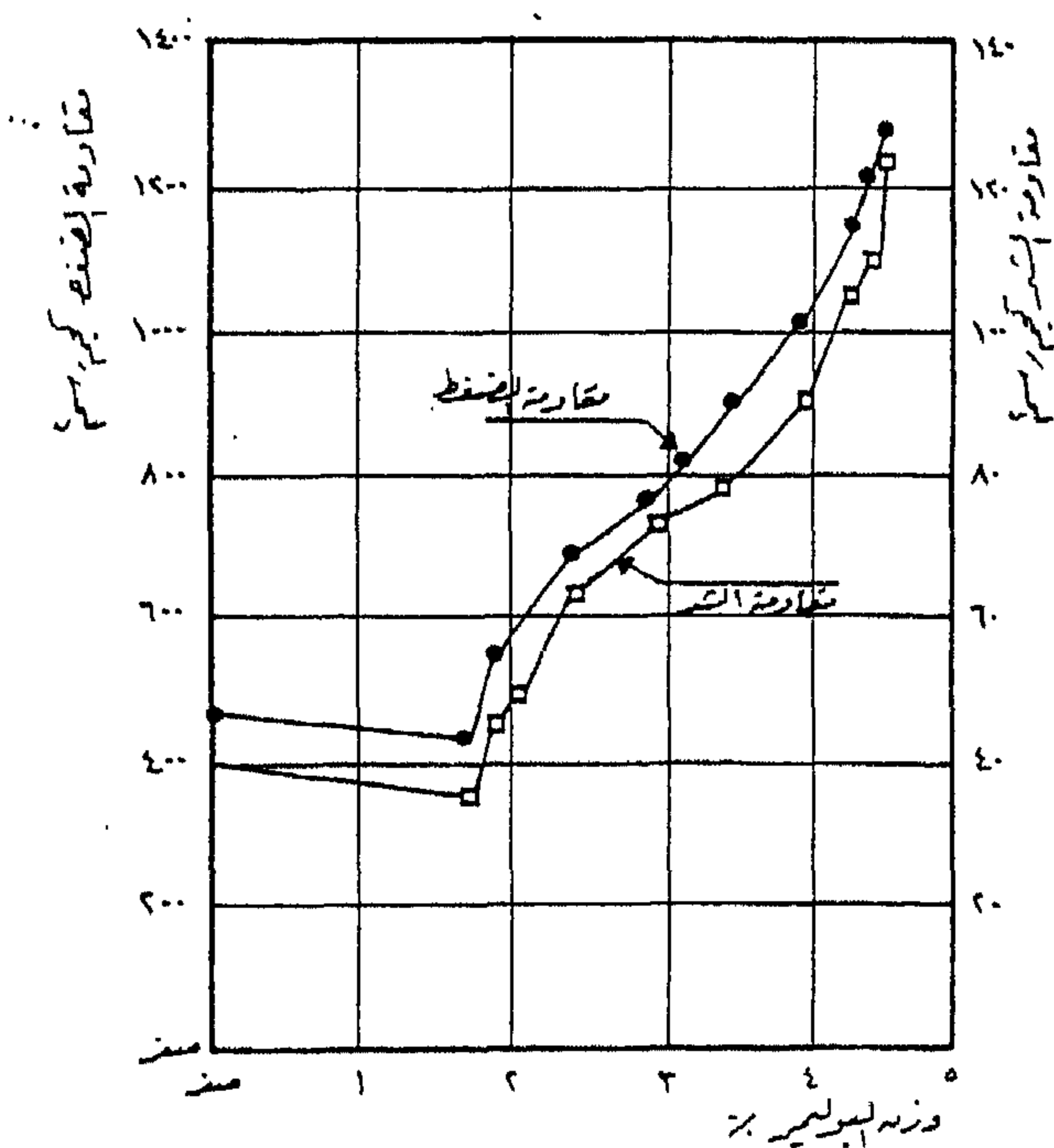
مقاومة الشد زادت بالغلغلة الجزئية للخرسانة بنسبة ٢٤٢ ٪ عن مثيلتها غير المغلفة - كما يظهر فى شكل (٦ / ٦) .

معايير المرونة :

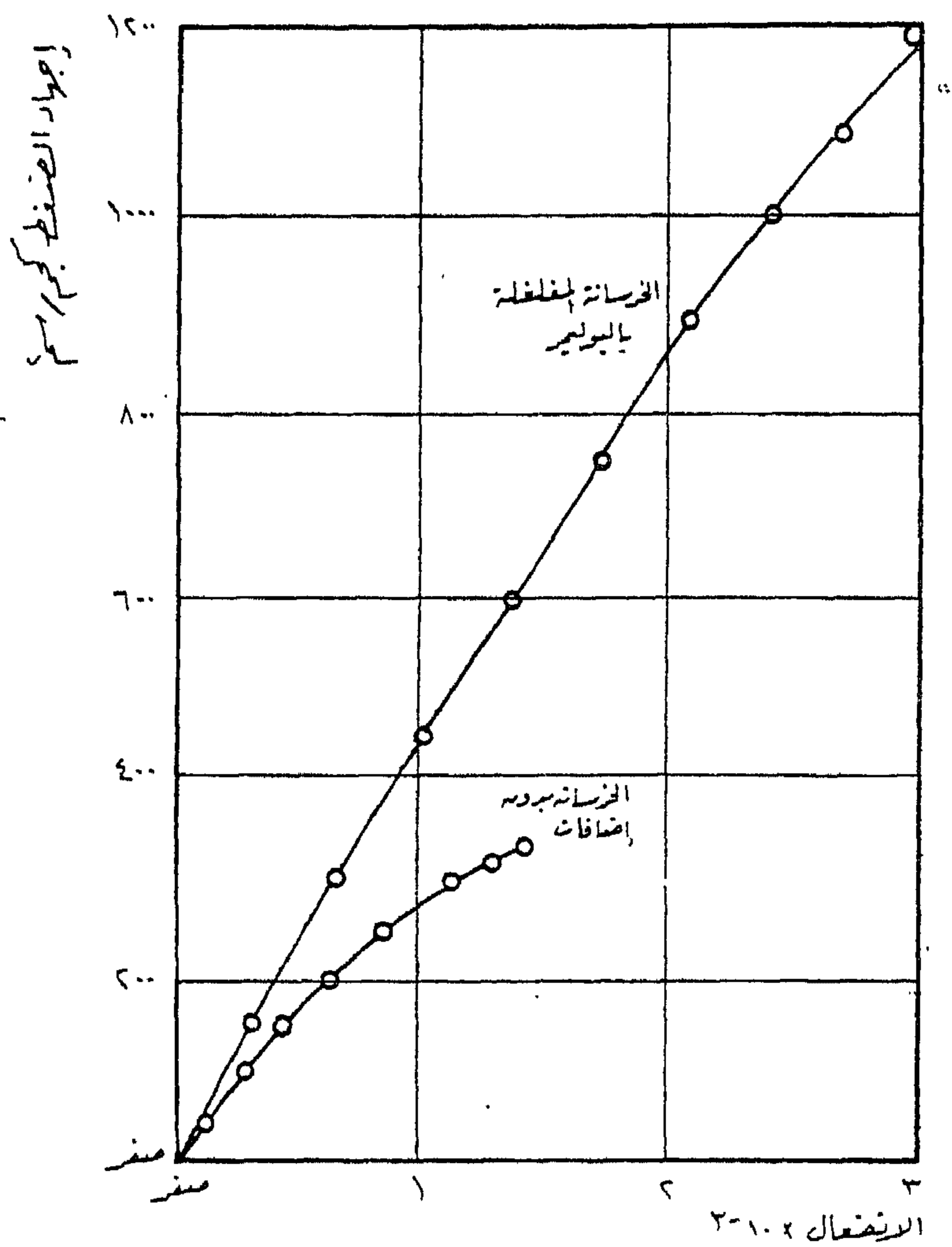
ازداد معايير المرونة للخرسانة المغلفة جزئياً بنسبة ٣٠ ٪ عن الخرسانة العادية ، كما أن منحنى الإجهاد والانفعال كان خطياً حتى ٧٠ - ٧٥ ٪ من حمل الكسر ، ثم انحرف عن الخطية بنسبة ١٠ - ١٥ ٪ عند الانهيار - كما هو موضح بشكل (٦ / ٧) .



شكل (٥ / ٦) عمق تغلغل البوليمر في المكعبات (١٠ سم)
تبعاً لوقت الغمر للخرسانة المغلفة جزئياً



شكل (٦ / ٦) مقاومة الضغط والشد للمكعبات كدالة في وزن البوليمر
(ميثيل ميثا كريلات) للخرسانة المغلفة جزئياً (٣٠)



شكل (٦ / ٧) العلاقة بين الإجهاد والانفعال للخرسانية المغلطة
بالبوليمر والخرسانية بدون إضافات (٣٠)

الزحف :

تأثر الخرسانة المغلغة بالبوليمرات قليل جداً عند التحميل بأحمال مستمرة عالية ،
وشبه معدوم عند الإجهادات المنخفضة .

الانكماش :

لم يتم تسجيل انكماش يذكر للخرسانة المغلغة جزئياً .

٣ / ٢ / ٣ - الخرسانة المغلغة سطوحياً :

هذه الخرسانة شبيهة بالخرسانة المغلغة جزئياً ولكن عادة يتم مناقشتها منفردة
لاختلاف طرق إنتاجها ومجالات تطبيقاتها ، والمونومرات المستخدمة في الغلطة السطحية
تكون لها لزوجة متوسطة ، ولقد وجد أن المونومرات ذات اللزوجة المنخفضة أكثر تطايراً
ولها معدلات بطيئة في الاختراق الأولى داخل الخرسانة ، وتميل إلى التبخر من على
السطح والمونومرات الأكثر لزوجة مثل البولي استر - سترين لها معدلات اختراق للسطح
أقل وتطايرها أقل ، ولكنها تحتاج إلى ضغط زائد لتسهيل التحكم في عمق الاختراق .

ومن أنظمة المونومرات التي أعطت نتائج مبشرة استخدام بنزول البيروكسيد (BP)
كبادئ وثلاثي ميثيل بروبولين ثلاثي ميثيل ميثا كريلات (TMPTMA) لعملية الوصل
التقاطعي (Cross- linking agent) لهذه المونومرات وفيها :

* الميثيل ميثا كريلات (MMA) Methyl methacrylate .

* إيزو ديكيل ميثا كريلات (IDMA) Isodecyl methacrylate .

* إيزو بيوتيل ميثا كريلات (IBMA) Isobutyl methacrylate .

مع إضافة ١٪ بنزول بيروكسيد إلى هذه المونومرات و ١٠٪ (TMPTMA) ، وهذه
الطريقة من الغلطة مناسبة لكبارى الطرق السريعة .

الخواص الميكانيكية :

اتضح أنه باستخدام الغلطة السطحية وبالتالي غلق المسام ، فإن النفاذية للماء تقل
بدرجة ملحوظة ، كذلك فإن مقاومة السطح للبرى تزيد أيضاً زيادة كبيرة مقارنة
بالخرسانة العادية .

٢ / ٢ / ٤ - التطبيقات الخاصة بالخرسانات المغلفة بالبولىميرات :

هناك العديد من التطبيقات للخرسانة المغلفة بالبولىميرات ، منها : خرسانات محطات تنقية المياه المالحة ، وأرضيات الكبارى السابقة الإجهاد ، واللاحقة الشد ، والدعامات الخرسانية لأسقف مناجم الفحم ، والوحدات سابقة الصب لتبطينات الأنفاق والمنشآت تحت الماء ومواسير المجارى والضغط ، وفلنكات السكة الحديد ، وقواعد المضخات والمنشآت البحرية والخرسانات الخفيفة .

٢ / ٣ - الخرسانة البولىميرية :

ويطلق عليها أحياناً الخرسانة البلاستيكية أو الخرسانة الراتنجية ، وفيها تحل الراتنجات محل الأسمنت كمادة رابطة لجزيئات الركام ، والخرسانة الراتنجية لها خواص ميكانيكية عالية ، وزمن معالجتها قصير ، ولها انكماش متناهى فى الصغر وخاصة تماسك ممتازة مع الخرسانات سابقة الصب ومقاومة عالية للماء والكيماويات ، وتتوقف خواص الخرسانة البولىميرية على نوع الراتنج المستخدم ونوع الركام وكميته فى الخلطة .

وهناك العديد من الراتنجات استخدمت فى إنتاج الخرسانة الراتنجية ، منها :

* الإيبوكسى .

* البولى استر

* فينول فورمالدهيد .

* فور فورال اسيتون .

والزلط والرمل الطبيعى يصلحان لعمل الخرسانة الراتنجية ، وتدرج الركام يتم اختياره للحصول على أقل كمية من الراتنجيات مع أعلى خواص تناسب مجال التطبيق ، وعليه فاقترادات الإنتاج تجبذ عدم استخدام رمل ذى مقاس واحد بل يكون متدرجا .

٢ / ٣ / ١ - تصنيع الخرسانة البولىميرية :

الطريقة العملية والأكثر شيوعاً لعمل الخرسانة الراتنجية هى خلط المونومر مع الركام وتقليبهما حتى يتم الحصول على خلطة متجانسة ، ثم يتم صبها فى القوالب ويتم دمكها قبل أن تتم عملية البلمرة ، هذه الطريقة لم تحقق نتائج مرضية نظراً لوجود فراغات كبيرة

نتيجة الهواء المحبوس أثناء الصب ، وعدم التجانس نتيحة المناولة والخلط والدمك لمركب الركام ومركب المونومر .

وهناك طريقة متقدمة تستخدم الآن ، ويتم فيها حساب كمية المونومر المطلوبة بناء على الفراغات الموجودة في الركام ، ويتم التخلص من الهواء بالفراغات بدون عملية سحب للهواء وذلك بأن يوضع الركام المتدرج الجاف في القوالب ويتم عمل فتحة في أسفل القالب ، وقبل ملء القوالب بالركام يتم دهان أسطح القوالب الداخلية بمادة مانعة للالتصاق ، ثم يتم صب المونومر في القوالب تحت تأثير الجاذبية حتى تتشبع كل كمية الركام ، ويمكن التحكم في معدل سريان المونومر بواسطة محبس أو أى طريقة تحكم أخرى تتوقف على لزوجة المونومر ، ويستمر ارتفاع منسوب المونومر داخل القوالب حتى سطح الركام ، وعندئذ يتم إيقاف عملية التزويد بالمونومر ، وبعد عملية التشبع يتم وضع القوالب في أماكن البلمرة سواء في الفرن أو في مجال الإشعاع .

الخواص الطبيعية والميكانيكية :

عموما كثافة الخرسانة الراتنجية أقل من الخرسانة العادية الأسمنتية - أى أقل من ٢ طن / م^٣ .

مقاومة الضغط :

تزيد مقاومة الضغط للخرسانة الراتنجية بمقدار يتراوح بين ١٠٠٪ إلى ٢٠٠٪ عن الخرسانة العادية الأسمنتية - كما هو موضح في شكل (٦ / ٨) .

مقاومة الشد :

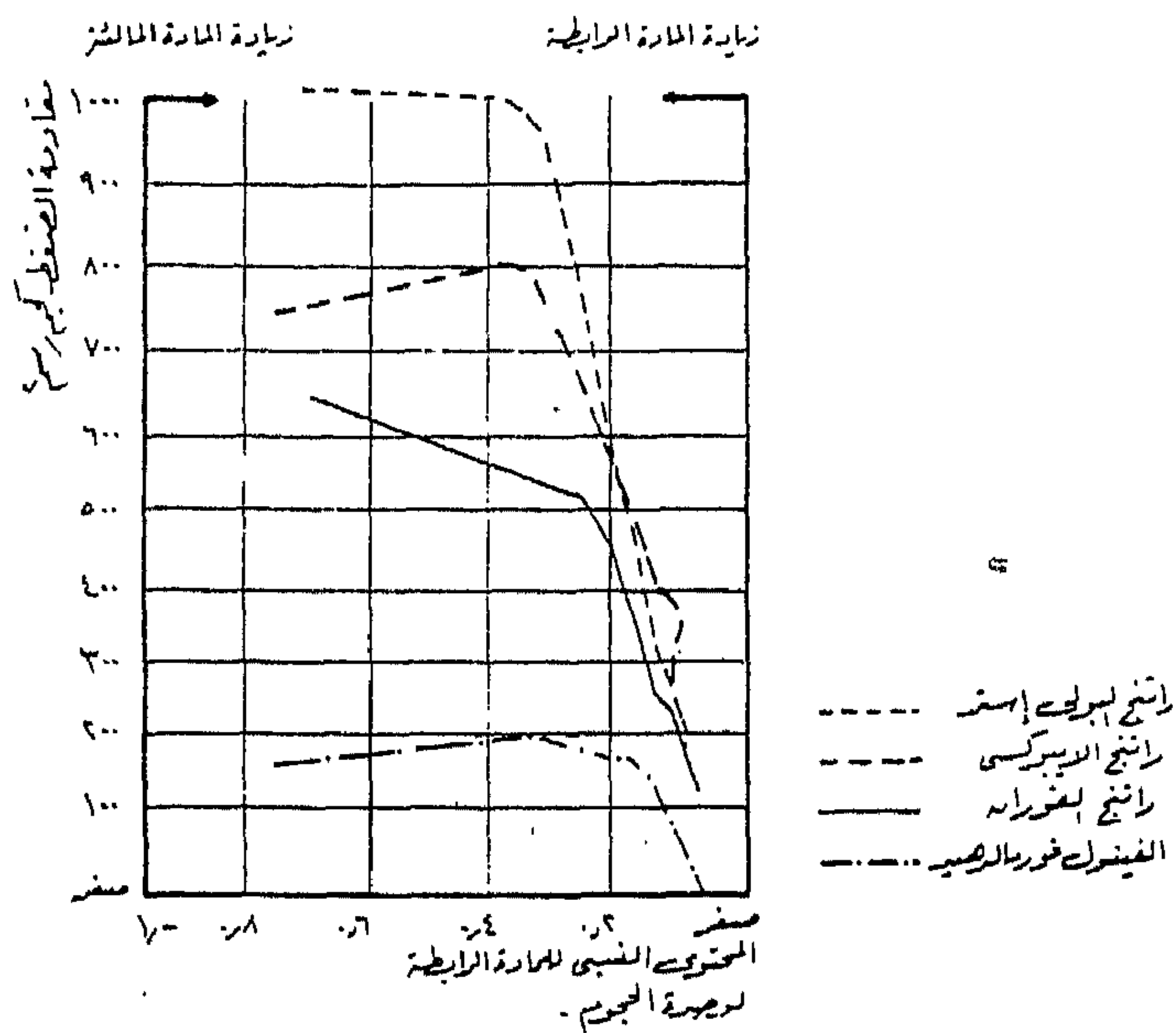
تزيد مقاومة الشد للخرسانة الراتنجية بنفس نسبة زيادة مقاومة الضغط .

مقاومة الانحناء :

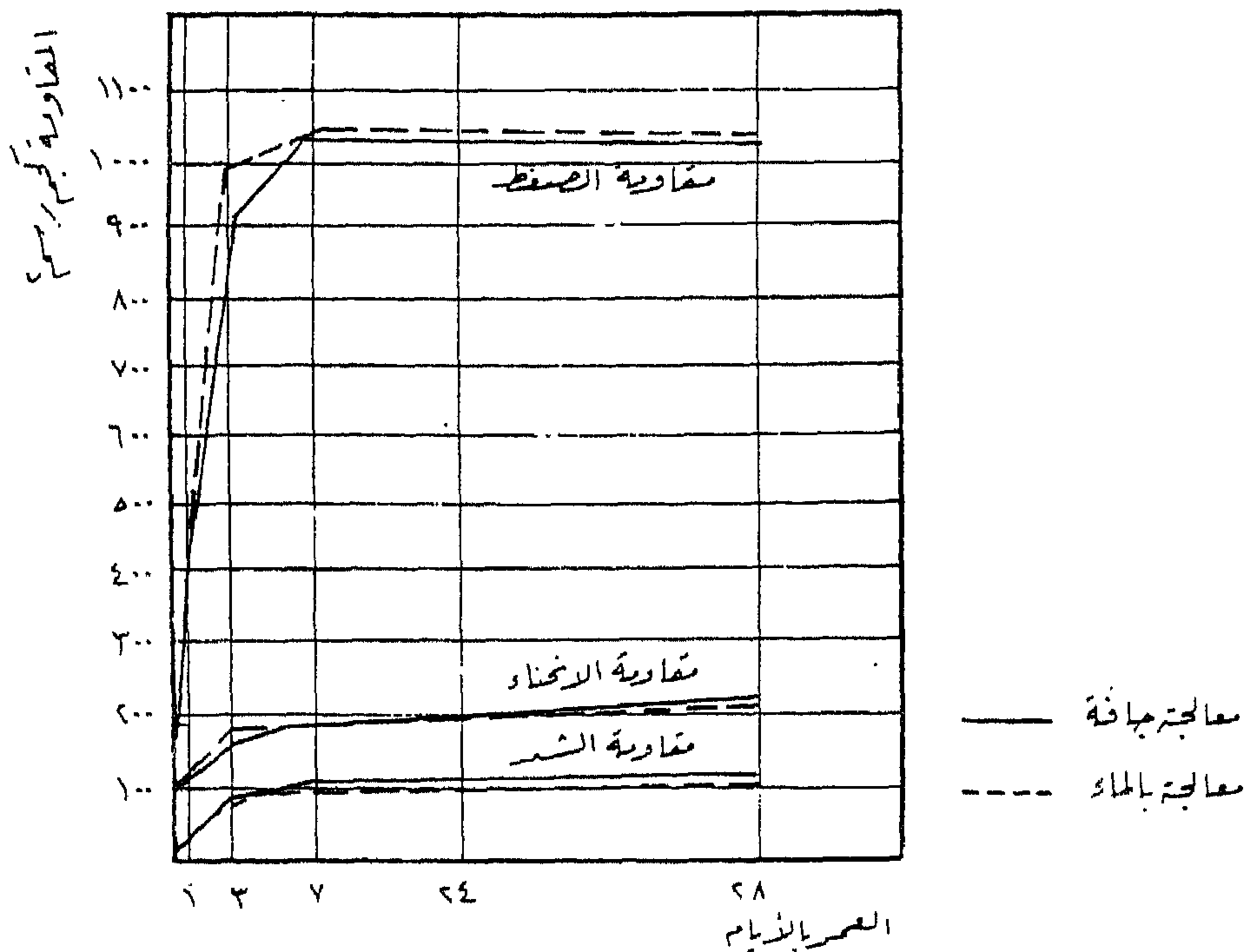
زادت مقاومة الانحناء للخرسانة الراتنجية بمقدار ٥٠٠٪ إلى ٧٠٠٪ عن الخرسانة الأسمنتية ، وتكتسب الخرسانة البوليمرية هذه المقاومة في عمر مبكر جداً - كما يظهر من شكل (٦ / ٩) .

معايير المرونة :

يزيد معايير المرونة بمقدار يصل إلى ١٥٠٪ عن الخرسانة العادية الأسمنتية عند



شكل (٨ / ٦) العلاقة بين نسبة المادة اللاصقة إلى المادة المائنة ومقاومة الضغط لخرسانة بوليمرية باستخدام عدة راتنجات (عمر ٢٨ يوماً) (٣٣)



شكل (٩ / ٦) العلاقة بين العمر والمقاومة للخرسانة البوليمرية (٣٤)

استخدام أغلب الراتنجات ، وقد يزداد معايير المرونة لبعض الراتنجات مع زيادة نسبة الراتنج إلى حد معين ثم يبدأ في النقصان ، إلا أن معايير المرونة يقل في الخرسانة الراتنجية عن الخرسانة العادية الأسمنتية في حالة استعمال الفينول فورمالدهيد .

الانكماش :

انكماش مُتَنَاهٍ في الصغر يلاحظ للخرسانة الراتنجية عند استعمال راتنج الإيوكسي وبعض أنواع البولي استر ، ويصبح ثابتا بعد عمر أربعة عشر يوما تقريبا .

نفاذية الماء :

أثبتت الأبحاث التي أجريت على العديدة من الراتنجات وخاصة الإيوكسي والبولي استر ، أن الخرسانات الراتنجية المصنعة منهما لها نفاذية ضئيلة جداً .

الالتصاق :

اختبارات التماسك بين المونة الراتنجية والصلب أثبت أن مقاومة التماسك عالية جداً مقارنة بالخرسانة الأسمنتية العادية ، مما يوضح أن خاصية التصاقها ممتازة .

٢ / ٣ / ٢ - تطبيقات الخرسانة الراتنجية :

الخرسانة الراتنجية لها العديد من التطبيقات ، منها :

- ١ - طبقة حماية سطحية لأسطح الكباري والمصانع وأماكن الخدمات والسلالم ، والخرسانة المسلحة وسابقة الإجهاد والسدود .
- ٢ - إصلاح الأرضيات والخرسانة التي حدث بها شروخ نتيجة الانكماش أو الاهتزازات أو الحرارة .
- ٣ - لصق الخرسانة الحديدية والقديمة أو الوحدات سابقة الصب ، وكذلك تماسك الخرسانة مع المعادن كطريقة للتسليح الخارجي .
- ٤ - تكوين قطاعات مركبة من العناصر الخرسانية المسلحة لزيادة أقصى تحمل لها وزيادة المطولية وامتصاص الصدمات .

٣ - أنواع مواد الترميمات والإصلاح والحماية

إن المواد الشائعة الاستخدام في أعمال الترميمات والإصلاح والحماية تتضمن المواد الأسمنتية المكونة من مونة الأسمنت والرمل فقط ، أو تلك المضاف إليها مواد بوليمرية لزيادة التماسك أو لتحسين القابلية للتشغيل وتحسين الخواص الميكانيكية أو المستخدم فيها أسمنتات عديمة الانكماش ، كما تتضمن المواد الحديثة مثل المونة الراتنجية والتي يحل فيها بعض أنواع الراتنجات محل الأسمنت كمادة رابطة لحبيبات الركام ، كما أن الراتنجات ذات اللزوجة المنخفضة التي يمكن تغلغلها داخل الخرسانة فتسد المسام وتكسب الخرسانة خواصاً مميزة ، كان لها دور فعال كمواد للترميمات والحماية.

٣ / ١ - المواد الأسمنتية :

٣ / ١ / ١ - مونة الأسمنت والرمل :

أجمعت آراء العديد من الخبراء في مجال الترميمات والإصلاح وحماية المنشآت الخرسانية أن المونة الأسمنتية أكثر توافقاً مع الخرسانة من المونة الراتنجية . كما أنه يمكن التحكم في نسب مكوناتها ، بحيث يمكن الحصول على خلطات ذات صفات محددة يمكن استخدامها في هذا المجال بكفاءة عالية دون تكلفة باهظة ، وعادة ما يستخدم الأسمنت البورتلاندى بأنواعه المختلفة في هذا المجال حسب حالة وظروف تشغيل العنصر المطلوب إصلاحه ، والخلطات الأكثر شيوعاً في الاستخدام هي الخلطات ذات نسب الأسمنت إلى الرمل ١ : ٢ ، ١ : ٣ بالوزن ، وعادة ما تستخدم هذه المونة في إحلال الغطاء الخرساني المغيّب للعناصر الخرسانية المسلحة مع عمل التجهيز اللازم للسطح الذي سيتم ترميمه من تخشين وتنظيف وفي بعض الأحيان دهانه بمواد تساعد على ربط المونة الحديثة بخرسانة العنصر القائم .

٣ / ١ / ٢ - مونة الرمل والأسمنت ذات الإضافات البوليمرية لزيادة التماسك :

توصلت الأبحاث والتكنولوجيا المتطورة في مجال البوليمرات إلى إنتاج أنواع من الراتنجات ، يمكن إضافتها إلى المونة الأسمنتية عن طريق ماء الخلط كمعلقات أو

مستحلبات لتحسين خاصية تماسك المونة الطازجة حديثة الصب مع الخرسانة القديمة ،
ويزيد من هذا التماسك المعالجة الصحيحة لسطح الخرسانة وتجهيزه قبل استخدام هذه
المونة المحسنة الخواص ، وهناك العديد من الراتنجات التي أثبتت كفاءة في هذا المجال ،
منها : راتنج الإيبوكسي (Epoxy) وراتنج الاستيرين بوتادين (SER) Sygrene buta-
diene ، وبولي فينيل الأسيتات (PVA) Polyvinyl acetate ، وراتنجات الأكريلات
والأكريلات المطورة ، ومن أكثر هذه الأنواع استخداماً - لصفاته المميزة - هو راتنج
الإيبوكسي ، كما أن راتنج (SER) له مقاومة عالية للرطوبة والبرى .

٣ / ١ / ٣ - مونة الرمل والأسمنت ذات الإضافات البوليمرية لتحسين الخواص الميكانيكية :

وهي مونة أسمنتية يضاف إليها إضافات لتقليل ماء الخلط كنسبة من الأسمنت بالوزن
تصل إلى حوالي ١٠٪ ، وهي تضيف قابلية عالية للتشغيل للمونة الطازجة مع تخفيض في
ماء الخلط ، كما أنها تحسن مقاومة الشد للمونة والتماسك مع الخرسانة سابقة الصب
وصلب التسليح .

٣ / ١ / ٤ - مونة الرمل والأسمنت عديمة الانكماش Non - shrinking mortar :

مما لا شك فيه أن مقدار انكماش المونة المستخدمة في أعمال الترميمات والإصلاح
مقارنة بانكماش العنصر الخرساني الذي تجرى عليه هذه العمليات ، يكون له تأثير أساسي
على كفاءة العمل ، وكلما كان الانكماش متقارباً كلما قلت احتمالات انفصال المادة
الحديثة عن العنصر المعالج ، ومما هو معروف أن زيادة نسبة الأسمنت في خلطة المونة
تؤدي إلى تحسين خواصها الميكانيكية ولكن في الوقت نفسه تزيد من مقدار الانكماش ،
وفي بعض أعمال الحقن قد نلجأ إلى استخدام عجينة أسمنتية ذات قوام عالي القابلية
للتشغيل ، مما يستلزم إضافة نسبة مياه عالية لتحقيق ذلك ، وهذا يؤدي إلى ضعف مقاومة
المونة بعد التصلد ، وتكون فراغات كبيرة ، وكذلك زيادة عالية في انكماش الجفاف ،
ولقد أدت الأبحاث إلى التوصل إلى بعض المواد التي تستخدم كإضافات للأسمنت أو
المونة الأسمنتية لتقليل مقدار الانكماش إلى أقصى حد مطلوب ، ومن هذه المواد بودرة
الألومنيوم ومادة الرست بليرون وأنواع معينة من الكربون ، هذا ومن المعروف أن العناية
بالصب والمعالجة تقلل مقدار الانكماش .

٣ / ٢ - المونة الراتنجية :

المونة الراتنجية تتكون من ركام صغير ، يتم ربط جزيئاته بواسطة مواد راتنجية بدلا من الأسمنت ، ومن أكثر المواد الراتنجية استخداما راتنج الإيبوكسى وراتنج البولى استر ، وعادة ما تتواجد هذه الراتنجات في عبوتين منفصلتين إحداهما تحتوى على الراتنج والأخرى تحتوى على المادة التى تضاف إليه لإتمام عملية البلمرة والتصلب واكتساب الخواص المطلوبة وهى ما يطلق عليها اسم المصلد (Hardener) ، وعادة ما تتميز المونة الراتنجية بسرعة اكتسابها لأقصى خواصها الميكانيكية فى زمن قليل ، وهى خواص تتفوق على مثيلتها من المونة الأسمنتية ، كما أن لها خاصية التماسك العالية مع الخرسانات سابقة الصب وحديد التسليح ومن مميزاتها مقاومة البرى وقلة النفاذية ومقاومة الكيماويات .

ومن مميزات المونة الإيبوكسية أن مقدار انكماشها مقارب للمونة الأسمنتية ، وهى فى ذلك تتميز عن مونة البولى استر المحدودة الاستخدامات ، نظرا لزيادة انكماشها بدرجة واضحة عن انكماش الخرسانة ، مما يؤدى إلى انفصال طبقة الترميم عن العنصر الخرسانى الأصيل ، والجدير بالذكر أن الشركات المنتجة لمونة البولى استر قد تنبّهت إلى ذلك فتم إنتاج أنواع محسنة ذات انكماش قليل ، وعليه فإنه من الأهمية بمكان عمل الاختبارات القياسية لتحديد صلاحية الراتنجات المستخدمة ومدى ملاءمتها للغرض المستخدمة من أجله .

والجدول رقم (٦ / ١) يبين بعض الخواص المميزة لبعض المون الراتنجية ومدى تفوقها الواضح على المون الأسمنتية والخرسانات .

٣ / ٣ - مواد المعالجة السطحية وغلق المسام :

عند حماية سطح خرسانى ضد العوامل المحيطة من رطوبة أو كيماويات ، قد يرى المتخصص دهان السطح بمواد غلق المسام لعزل العنصر الخرسانى عن العوامل المحيطة ، كما قد يلجأ إلى الدهانات لأسطح الخرسانات الجارى ترميمها لعزل الجزء القديم بما قد يحويه من أملاح ومواد ضارة عن الجزء الحديث ، والدهانات السطحية غير المغلفة إلى أعماق كافية قد تصبح مثل القشرة السطحية التى قد تنفصل تحت أى ظروف من الرطوبة أو الاحتكاك ، وعليه فيجب اختيار مواد للدهانات ذات لزوجة كافية مع العمل على غلفتها داخل العنصر الأصيل إلى مسافات لا تسمح بانفصال الطبقة السطحية ، كما أنه

على درجة كبيرة من الأهمية تنظيف السطح المعالج جيداً والتخلص من الأجزاء غير المتناسكة وإجراء الترميمات اللازمة له إذا استلزم الأمر ذلك قبل إجراء عمليات الدهانات والمعالجة وغلق المسام .

وهناك أنواع متعددة تستخدم في حماية الأسطح الخرسانية ، ويمكن تقسيم المواد المستخدمة في حماية الأسطح إلى المجموعات التالية :

أ - المواد الطاردة للماء ، وتنقسم إلى :

• السيليكونات Siliconates .

• راتنجات السيليكون Silicon resins .

• السيلينات Silanes .

• السيلوكسينات Oligomeric / polymeric siloxanes .

ب - المواد المائلة للفجوات السطحية Sealants .

ج - الطبقات السطحية Coatings .

د - المونة .

٣ / ٣ / ١ - المواد الطاردة للماء :

معظم المواد الطاردة للماء المستعملة تتكون من مكونات سيليكوثية عضوية - Organosilicium compounds ، والاختيار الموفق لهذه المكونات يعطى الخرسانة خواصاً طاردة للماء جيدة ، ويمكن أن يستمر مفعولها لمدة عشر سنوات ، ويمكن تقسيم المواد الطاردة للماء إلى :

١ - سيليكونات - الوزن الجزيئي من ١٠٠ إلى ٢٠٠ .

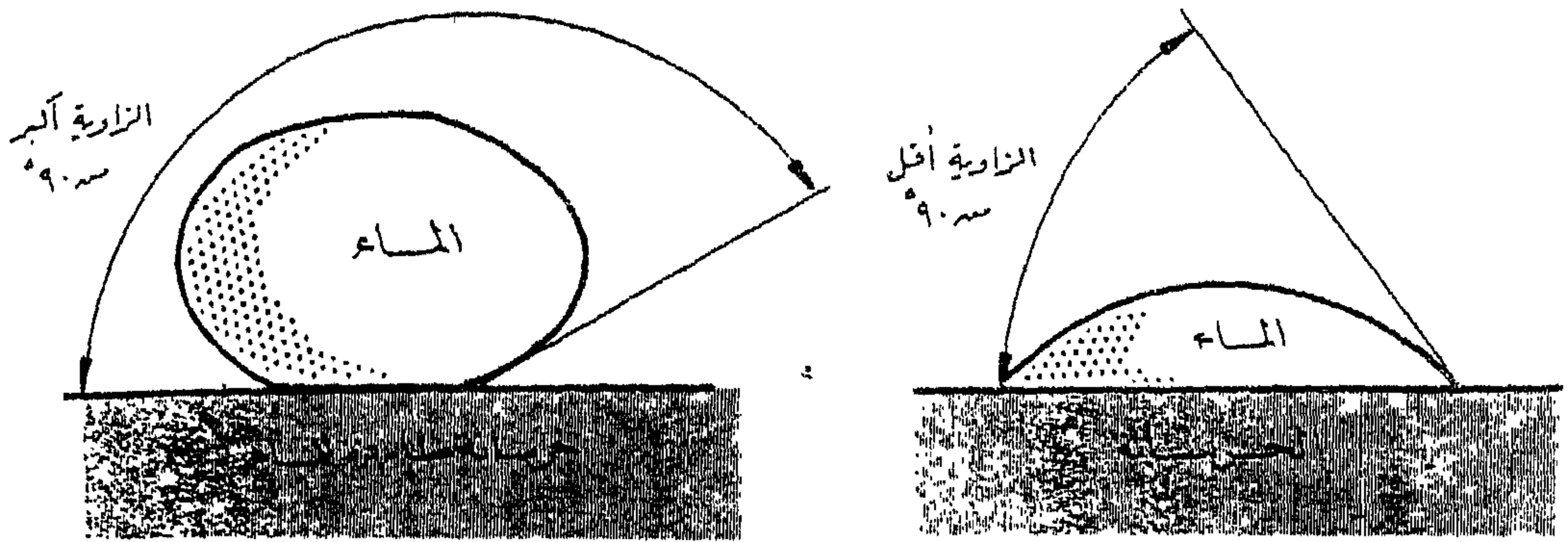
٢ - راتنجات السيليكون - الوزن الجزيئي أكثر من ٢٠٠٠٠ .

٣ - السيلينات - الوزن الجزيئي من ١٠٠ إلى ٢٠٠ .

٤ - السيلوكسينات - ذات التبلر الجزيئي (Oligomeric siloxanes) (الوزن

الجزيئي من ٤٠٠ إلى ٦٠٠) والمتبلرة Polymeric siloxanes (الوزن

الجزيئي أكبر من ١٠٠٠) .



شكل (٦ / ١٠) زيادة زاوية الاتصال يجعل الخرسانة طاردة للماء

ويمكن لهذه المواد أن تلتصق بالخرسانة كيميائياً - كما يظهر من شكل تفاعل السيلينات مع الخرسانة - وتكون المجموعات غير القطبية الخواص الطاردة للماء ، حيث تصبح زاوية اتصال الماء بسطح الخرسانة أكبر من ٩٠° ، فبدلاً من خواص الامتصاص الشعرية الأصلية تتحول الخواص السطحية إلى خواص طاردة للماء - شكل (٦/١٠) .

ويمكن استخدام المواد الطاردة للماء مع غيرها من أساليب الحماية - مثلاً - مع التغطية السطحية ، وميزة استخدام هاتين الوسيلتين من وسائل الحماية معاً أنه عندما تظهر عيوب في طبقات التغطية ، فإن الماء والمحاليل الضارة لن يمكنها دخول الخرسانة بسهولة لوجود خواص طرد الماء على السطح مما يشكل خط دفاع ثان على سطح الخرسانة .

السيليكونات Siliconates :

وهي من أوائل المواد التي استخدمت كمواد طاردة للماء ، ولا تستخدم الآن إلا نادراً في حماية أسطح الخرسانة المسلحة للمشاكل التي تنشأ من استخدامها ، وهي مواد قابلة للذوبان في الماء أو الكحول وبها حوالي ٤٠ ٪ مواد صلبة وعندما توضع على سطح الخرسانة فإنها تتفاعل مع ثاني أكسيد الكربون الموجود بالجو . والمشكلة التي تنشأ من استخدام السيليكونات هي أن ناتج التفاعل مع ثاني أكسيد الكربون يسبب عيوباً للسطح الخرساني ، ولكن هذا الناتج يمكن إزالته بالماء أو عند سقوط الأمطار .

راتنجات السيليكون Silicon resins :

والجيل الثانى من المواد الطاردة للماء المستعملة على الخرسانة أو الحجر هي راتنجات السيليكون ، وهذه الراتنجات تكون مذابة فى مذيبات اليفاتية (Alifatic) ، وتحتوى على ٥ ٪ مواد صلبة ، ولا يحدث عند استخدامها العيب الذى ينشأ عند استخدام السيليكونات ، وينشأ عن تفاعلها التصاق جيد مع حوائط الفجوات السطحية .

وعيبها أنها تكى تعمل بكفاءة فلا بد أن يكون السطح جافا والفجوات السطحية به كبيرة ، كما أن وضعها على سطح الخرسانة قد يؤدى إلى أن يصبح السطح لزجا ، ولذلك فهي ليست أصلح المواد للاستخدام على الخرسانة وخاصة ذات الفجوات السطحية الصغيرة .

السيلينات Silanes :

وتستخدم تجاريا فى أوربا منذ منتصف السبعينات ، وغالبا ما تكون مذابة فى مذيبات اليفاتية (Alifatic) أو عطرية ويكون محتوى السيلين بها مرتفعا (مثلا ٤٠ ٪) ، ولكى يحدث التفاعل مع البولى سيلوكسينات Polysiloxanes فلا بد من توافر الرطوبة والمواد المحفزة (Catalyst) وميزة السيلينات على المادتين السابقتين هي :

١ - التشرب يكون أفضل وأعمق بسبب انخفاض لزوجة المذيب بالمقارنة بالسيليكونات ، وانخفاض الوزن الجزيئى بالمقارنة بالراتنجات .

٢ - ارتفاع نسبة المادة الفعالة والتي تصل إلى ٤٠ ٪ بالمقارنة بنسبة ٥ - ١٠ ٪ فى حالة راتنجات السيليكون .

أما عيب السيلينات فهو أنها متطايرة ويمكن أن تتبخر مع المذيب ، مما يجعل كفاءة عملية التشرب تعتمد إلى حد كبير على الجو ومكان العضو الذى تجرى حمايته .

السيلوكسينات المتبلورة جزئيا Oligomeric siloxanes :

للتغلب على مشكلة تطاير السيلينات فقد تم تطوير سيلينات متبلورة جزئيا ، وهي تعرف بالسيلوكسينات ، وقد أمكن الحفاظ على مميزات السيلينات مع الحصول على مادة أقل تطايرا والسيلوكسينات تستعمل مذابة فى المذيبات الأليفاتية أو الكحول ، حيث المادة الفعالة تتراوح نسبتها بين ٥ - ١٠ ٪ .

السيلو كسينات المتبلرة Polymeric siloxanes :

عندما تتم عملية بلورة السيلينات أو السيلوكسينات تتكون سلاسل جزيئية طويلة ، وهذه السلاسل البوليمرية تشبه إلى حد كبير راتنجات السيليكون ، ولكنها لزجة للغاية إذا لم يتم إضافة المادة المفككة ، وهي نادراً ما تستخدم في الخرسانة .

٣ / ٣ / ٢ - المواد المألثة للفجوات بالتشرب :

وهي مواد تتغلغل الخرسانة - راجع قسم (٢ / ٢) - فتملاً الفجوات السطحية .

٣ / ٣ / ٣ - مواد التغطية السطحية Coatings :

تتكون هذه المواد بوجه عام من المكونات الآتية :

مواد لاصقة Binders - مواد مألثة Fillers - صبغة Pigments - إضافات مواد مشتة Dispersing - مواد مذيبة .

والالتصاق يتحقق من التفاعلات أثناء التبلر (اتحاد الجزيئات) بين المكونات اللاصقة (الراتنجات) ، أو بالجفاف نتيجة تبخر المواد المذيبة والمواد المشتة .

وأهم الراتنجات المستعملة :

١ - راتنجات الإيوكسي : وهي توفر التصاقاً جيداً بالخرسانة ، ولا يحدث لها انكماش إلا انكماشاً ثانوياً أثناء عملية التبلر ، كما أنها تقاوم الكيماويات ذات التركيز الخفيف ، ويمكن تركيبها بحيث لا يحدث لها اصفرار مع الوقت .

٢ - مركبين من البوليريشين : وهي تقاوم جيداً الكيماويات الخفيفة ، ولا يحدث لها انكماش تقريباً ، لكنها تقاوم جيداً القاعدية العالية ، ولذا لا ينصح باستخدامها إلا على الأسطح الخرسانية التي ستكون مبللة باستمرار أو يتم أولاً دهان السطح بمادة مبدئية Primer ذات مقاومة عالية للأوساط القاعدية قبل وضعها على السطح الخرساني ، ومركبات البوليريشين قد يحدث لها اصفرار في اللون .

٣ - راتنجات القار الإيوكسي أو البوليريشين : وهي تمتاز عن راتنجات الإيوكسي بمرونتها ، وتمتاز عن مركبات البوليريشين بمقاومتها للأوساط القاعدية ، ولكن عيبها أنها لا تقاوم جيداً الظروف المحيطة من ضوء وأكسدة وحرارة .

٤ - راتنجات بولى ميثيل ميثا كريلات : وهى تلتصق جيداً بالخرسانة ، ولكنها تنكش كثيراً أثناء عملية البلمرة ، ومن مميزات مقاومتها للأحمال الميكانيكية وللكيماويات الخفيفة .

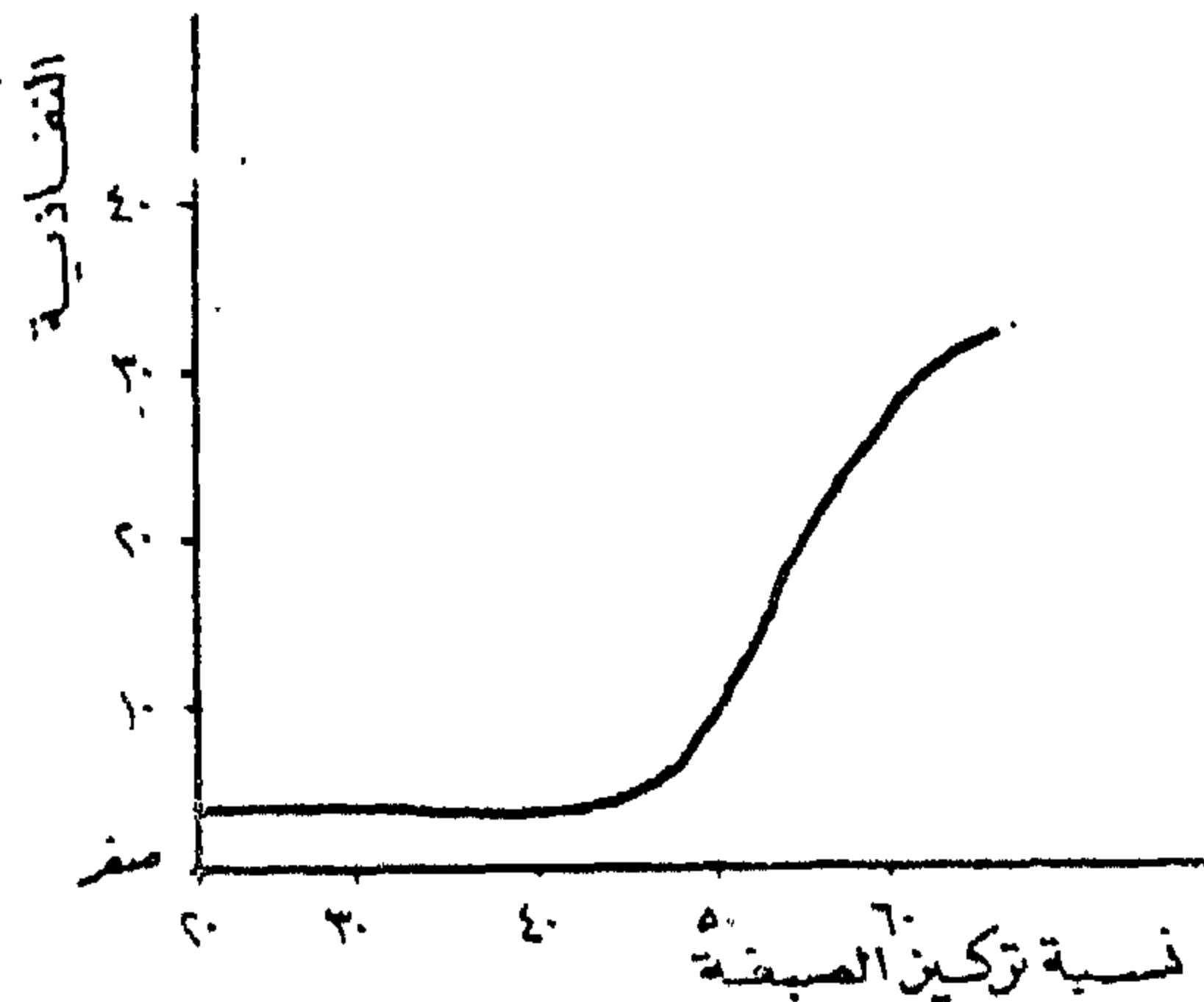
وهناك مواد تلتصق عند جفافها منها :

١ - الإكريليكات (Acrylics) - فى صورة ذائبة أو فى صورة مشتتة - وهى تمتاز بالتصاقها الجيد بالخرسانة ومقاومتها للأوساط القاعدية والعوامل الجوية والأكسدة .

٢ - المطاط الكربونى (Carbonated rubber) و كلوريد الفينيل البوليمرى

Vinylchloride copolymers وفلوريد الفينيل البوليمرى Vinylfuorid copolymers راتنجات السيليكون والسيلوكسينات .

وتوجد تركيبات من أكثر من نوع من المواد الملتصقة عند الجفاف مثل الأكريليكات مع فلوريد الفينيل ، وفى قسم (٥ / ١ / ٤) من الباب السابع مواصفات مواد التغطية المطلوبة ، وإذا لم توف المواد الموجودة بالسوق هذه المواصفات فيمكن تعديل خواصها بإضافة المواد المائلة أو الصبغة .. إلخ ، ولكن يراعى عدم تخطى نسبة التركيز الحرجة للمواد المائلة والصبغة لأن نفاذية مادة التغطية تزداد بسرعة بعد هذه النسبة - شكل (١١ / ٦) .



شكل (١١ / ٦) تأثير نسبة تركيز الصبغة على نفاذية مادة التغطية (٣٨)

ملحوظة هامة :

إن الأسماء التجارية للمواد اللاصقة كالأكريليكات وغيرها لا تكفى لكى يقرر المهندس الاستشارى ملائمة أو عدم ملائمة مادة التغطية للحالة المطلوب حمايتها ، وذلك لأن الأكريليك المذاب غير الأكريليك المشتت ، وهما يختلفان عن الأكريليك الذى تحدث له عملية البلمرة فى الموقع ، فالأسماء التجارية لا تعطى معلومات كافية عن المادة اللاصقة وكيفية حدوث البلمرة لها ، كما لا تعطى الوزن الجزيئى وغيره من المعلومات اللازمة لاختيار أنسب مواد التغطية لحالة بعينها ، ويجب أن يقوم الاستشارى بطلب تحليل للمواد المعروضة عليه للتعرف على خواصها التى تؤثر فى فعالية الحماية وتفاعلها مع الخرسانة ، وغير ذلك من الخواص التى عرضت فى هذا الباب .

٣ / ٣ / ٤ - المونة :

سبق مناقشة أنواع المونة المستخدمة فى الإصلاحات غير الإنشائية فى قسم (٣ / ١) ، وطريقة استخدامها ستناقش فى الباب الثامن قسم (٤ / ٣ / ٥) ، وسنعرض هنا لاستخدام المونة كطبقة حماية سطحية حيث يصبح الغرض من استخدامها الآتى :

١ - استعادة الوسط القاعدى لتوفير الحماية السلبية لصلب التسليح ، وهذا يشمل إلى حد ما إعادة القاعدية (re-alkilization) إلى الخرسانة التى حدث لها تحول كربونى - انظر قسم (٤ / ٦ / ٢) من الباب الثامن .

٢ - توفير الحماية ضد الصدأ عن طريق منع الأكسجين والرطوبة من النفاذ ، ويلاحظ أن منع الرطوبة يصعب الوصول إليه بمونة كثيفة فقط ، ويستحسن استعمال مواد التغطية أو دهان الأسياخ .

٣ - توفير حاجز يتحمل مع الزمن ويمنع إعادة اختراق السطح بالمواد الضارة ، مثل منع زيادة التحول الكربونى ، وهذا يمكن تحقيقه بالمونة وحدها أو باستخدام أكثر من وسيلة حماية مثل المونة مع إحدى وسائل الحماية السطحية الأخرى .

وفى حالة مونة الأسمنت والرمل العادية يراعى أن التصاق المونة بالخرسانة يكون عادة ضعيفا ، ومما يزيد الأمر سوءاً انكماش المونة عند جفافها مما يؤدى إلى انفصالها عن الخرسانة ، ولتحسين الالتصاق يراعى استخدام دهان أولى (Primer) على سطح الخرسانة إما من لبنى الأسمنت (Slurry) المعدل بالبوليمرات أو الدهان بالأيوكسى

القابل للاستعمال على الأسطح الرطبة .

ولتحسين أداء المونة التقليدية نستعمل المونة المعدلة بالبولىمرات ، وتوجد أنواع عديدة منها ، حيث يمكن الوصول إلى قوة التصاق تكافئ قوة الخرسانة فى الشد باستعمال الأنواع المناسبة من البولىمرات ، كما أن الانكماش عند الجفاف للمونة المعدلة أقل من مثيله للمونة التقليدية والقدرة على الانفعال أكبر ، والبولىمرات تجعل المونة أقل حساسية لطريقة المعالجة فلا تتغير خواصها كثيرا بنقص المعالجة .

وهناك أنواع خاصة من المونة المستعملة فى الحماية منها :

« مونة الأسمنت عالى الألومينا المعدلة بالبولىمرات ، ورغم أن استخدام الأسمنت عالى الألومينا نفسه قد أصبح قليلا نتيجة العيوب التى ظهرت فى منشآت إعادة التعمير بعد الحرب العالمية الثانية فى أوربا ، فإن استخدامه فى مونة الإصلاح بأمان ممكن بتخفيض نسبة الماء / الأسمنت إلى أقل حد ممكن ، وبأخذ عملية تحول هيدرات الأسمنت عالى الألومينا فى الاعتبار ، وعند إضافة البولىمرات إليه ، فإن المونة الناتجة تصبح ذات مقاومة جيدة للكىماويات الخفيفة ، ويمكن استعمالها بكفاءة فى حماية الأسطح .

« مونة البولىزىل (Polysil) ، وهى مادة تم تطويرها فى هولندا من رماد الفحم والزجاج المائى والسيليكا ، ومقاومتها للأحماض أعلى من مقاومة المونة العادية بكثير - كما يظهر فى شكل (٦ / ١٢) (٢٣٨) .

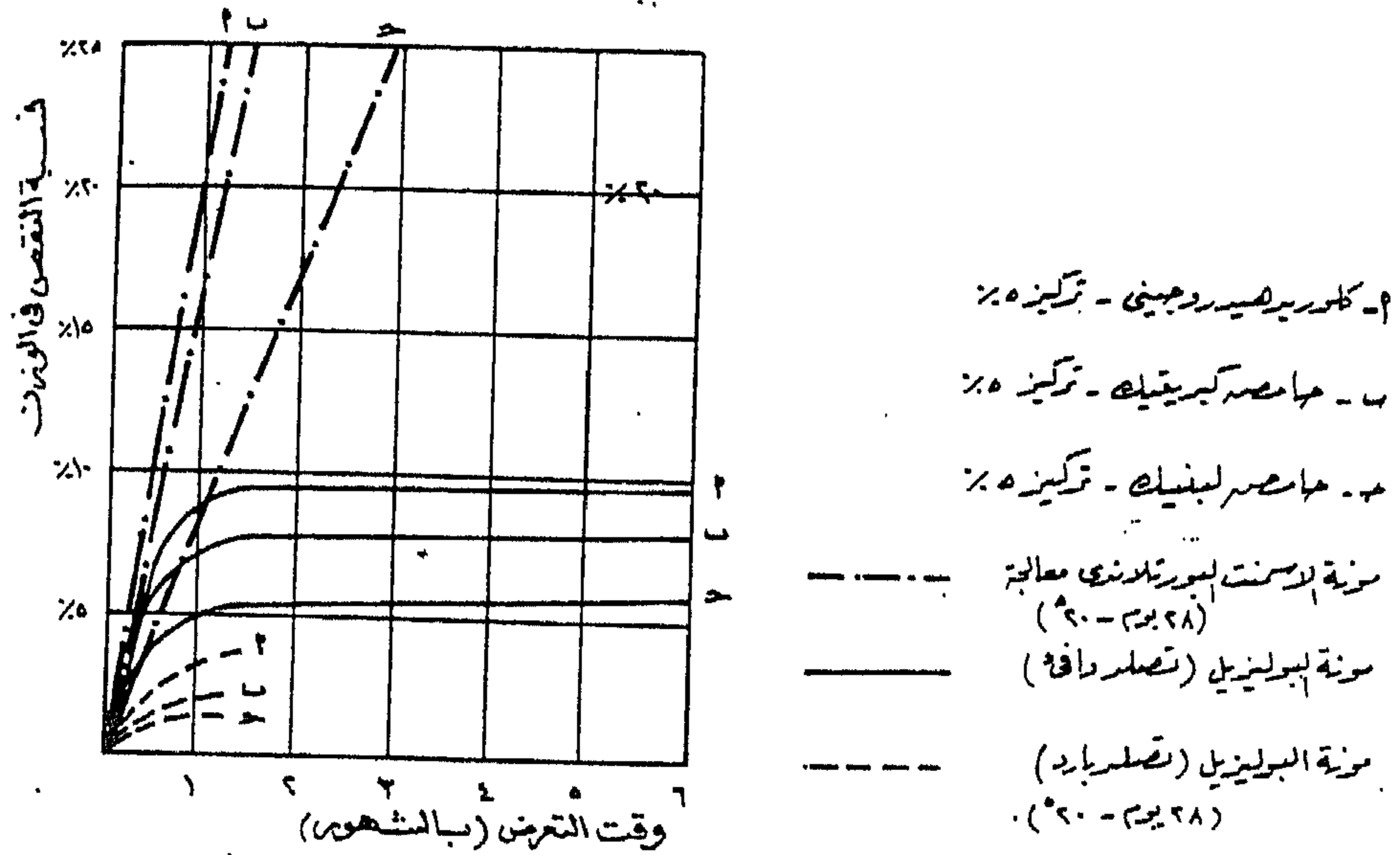
٣ / ٣ / ٥ - كيفية اختيار مادة الحماية السطحية :

إن اختيار نوع الحماية الأنسب لحالة بعينها يعتمد على عوامل عدة ، منها :

« ميكانيكية التدهور ونوع العيب الموجود .

« الوسط المحيط بالعضو الخرسانى ، وفى هذا الصدد يجب الأخذ فى الاعتبار الوسط المحيط بالعضو كله (Macro - enviroment) والوسط المحيط بالأجزاء الصغيرة التى عانت من التدهور (micro - enviroment) .

ويمكن أن يقوم الاختيار على أساس الخبرة السابقة لفترة طويلة بطريقة الحماية المقترحة ، ولكن أغلب مواد الحماية الحديثة عمرها قصير فلا توجد معلومات مرجعة Feed - back تكفى لتكوين خبرة يعتمد عليها ، وفى هذه الحالة فإن الفهم العميق لطبيعة



شكل (٦ / ١٢) نسبة النقص في الوزن للمونة المغمورة في أحماض مختلفة (٣٨)

التدهور وميكانيكية حدوثه وكذلك طبيعة تفاعل مادة الحماية وطريقة عملها لا غنى عنه للحصول على حماية فعالة ، وقد عرضنا بالتفصيل أسباب وميكانيكية حدوث العيوب المختلفة في الباب الرابع ، كما عرضنا في هذا الباب طبيعة المجموعات المختلفة من مواد الحماية المناسبة لكل حالة من الحالات ، ولكن يلزم التنبيه لموضوع التسمم ، فكثير من مواد التشرب ومواد التغطية يمكن أن تكون سامة للإنسان عند استنشاقها .

الجدولين (٦ / ٢) (٦ / ٣) يعطيان بعض المؤشرات التي تساعد في اختيار وسيلة الحماية السطحية ، وهذه المؤشرات مبنية على طريقة للحكم اقترحها كونزل ، وعدم ملائمة مادة مثل الإيوكسي في حالة بعينها لا يعنى استبعادها لأن تغيير تركيبة هذا الراتنج يمكن أن يجعلها مادة صالحة للاستعمال في حالة أخرى .

طريقة الحماية		ظروف التشغيل			التحمل مع الزمن
		خرسانة رطبة	سهولة التشغيل	الصحة	الظروف الجوية
		الأحمال الميكانيكية			
أ - الطبقات السطحية ١ - مواد التآكلية الإكريلات acrylat ستيرين الإكريلات styrene acrylate الفيرستات verstate البروبيونات Propionate أكريلات + تيفلون acrylate + teflon	جيدة	جيدة	جيدة	جيدة	جيدة
	جيدة	جيدة	جيدة	جيدة	جيدة / متوسطة
	جيدة	جيدة	جيدة	جيدة	متوسطة
	جيدة	جيدة	جيدة	جيدة	متوسطة
	جيدة	جيدة	جيدة	جيدة	متوسطة
ب - الغلغلة بالتشرب بالزجاج المائي + مادة مشبعة	جيدة	متوسطة	جيدة	جيدة	جيدة
	متوسطة	جيدة	جيدة	جيدة	متوسطة
٢ - رش الخرسانة shotcrete		جيدة	متوسطة	جيدة	جيدة

جدول (٢/٦) - طرق حماية الأسطح من التحول الكربوني ومدى ملائمتها

طريقة الحماية		ظروف التشغيل			التحمل مع الزمن
		خرسانة رطبة	سهولة التشغيل	الصحة	الظروف الجوية
		الأحمال الميكانيكية			
أ - الطبقات السطحية ١ - أكريلات + تيفلون acrylate + teflon ٢ - راتنجات الإيبوكسي exopy resin ٣ - الإيبوكسي بقار الفحم Coal - tar epoxy ٤ - المطاط chorinated rubber ٥ - البولي إيثين polyarethene ٦ - رش الخرسانة shotcrete	جيدة	جيدة	جيدة	جيدة	متوسطة
	متوسطة / سيئة	متوسطة	متوسطة	متوسطة	جيدة / متوسطة
	متوسطة / سيئة	متوسطة	متوسطة	متوسطة	متوسطة
	متوسطة	جيدة	جيدة	متوسطة	متوسطة
	سيئة	متوسطة	متوسطة	متوسطة	متوسطة
	جيدة	متوسطة	متوسطة	جيدة	جيدة / متوسطة
	جيدة	متوسطة	جيدة	جيدة	جيدة
ب - مواد طاردة للماء : ١ - السيلينات silanes ٢ - السيلوكسينات siloxanes	جيدة	جيدة	جيدة	سيئة	متوسطة
	متوسطة	جيدة	جيدة	متوسطة	جيدة

جدول (٣/٦) طرق حماية الأسطح من المياه المحتوية على كلوريدات ومدى ملائمتها

٤ - أهمية تحديد خواص مواد الإصلاح

أوضحت الدراسات العديدة التي أجريت فى أنحاء شتى من العالم أن مادة الإصلاح المقترحة لعمل معين يجب أن تفى بمتطلبات أساسية لها صفة الثبات ، سواء من حيث الخواص الفيزيائية أو الكيميائية أو الكهروكيميائية ، كما أوضحت تلك الدراسات أهمية معرفة التركيب الفعلى لمكونات مادة الإصلاح ونسب خلطها ومدى ملائمتها لاستيفاء المتطلبات المرجوة منها كمادة إصلاح لعمل بعينه .

ولقد أغرقت الأسواق المحلية فى طوفان من المواد المقترحة كمواد إصلاح تحت مسميات تجارية عدة ، وذات توصيفات لها صفة العمومية ، وذات خواص مطاطة فى تعريفها وتحديداتها .

ومما هو جدير بالذكر أن مواد الإصلاح قد ذكرت فى كتابات الأقدمين ونصوا على أن إصلاح الشيء يكون بمثيله (REPAIR LIKE WITH LIKE) ، أى أن إصلاح العنصر يكون بمواد مشابهة له فى الخواص الأصلية وأن استخدام مواد ذات خواص فائقة المقاومة أو مختلفة فى سلوكها عن خرسانة العنصر الجارى إصلاحه قد يحدث تأثيراً ضاراً .

٤ / ١ - مشكلة التوصيف :

يجب عمل الدراسات اللازمة والتحليل الدقيق للوصول إلى الأسباب الحقيقية وراء ظهور العيوب بالعنصر المزمع إصلاحه - راجع الباب الخامس - وقد يرجع ذلك إلى سبب أو أسباب عدة ، ومن الأهمية القصوى تحديد هذه الأسباب والتغلب عليها قبل البدء فى أعمال الإصلاح ، وهناك ثقلان هامان عند اختيار مادة وأسلوب الإصلاح وهما تحديد وتوصيف خواص المادة المصنع منها العنصر الذى سيجرى إصلاحه ، وكذلك تحديد الخواص المرجوة من مادة الإصلاح لملائمة الحالة الواقعية للعنصر والظروف المحيطة ، وعلى المهندس تجميع أكبر كم ممكن من البيانات والمعلومات من الدراسات السابقة والخبرات للمقارنة بينها وتحديد الأنسب للعمل محل التطبيق ، كما يمكن عن طريق النشر والاتصالات المباشرة والمراسلات الرجوع إلى الشركات المتخصصة فى مجال إنتاج وتسويق مواد الإصلاح ، وبدون أدنى شك يمكن الحصول على كم كبير من النشرات

الفنية المختلفة الأشكال والأحجام عن المواد التي يمكن استخدامها في الغرض المطلوب ، وهناك نوعيات مختلفة من الشركات التي تعمل في هذا المجال الحديث ، فبعض الشركات لديها مكاتب فنية متخصصة يمكن الرجوع إليها ومناقشتها في الجوانب العلمية والتطبيقية وحدود واحتياطات الاستخدام الأمثل لمواد الإصلاح المقترحة ، وبعض هذه الشركات تقوم بعملية تسويق للمنتجات مع خلفية فنية بسيطة ومحدودة ، وقد تكون معدومة عن هذه المواد سوى الخواص العامة والتطبيقات المتعددة دون أى سند أو تعليل علمي .

ومن المضحكات المبكيات أسلوب التوصيف للمواد المعلن عنها في الكتيبات والنشرات التي تقدمها بعض الشركات في مجال توصيف المواد ، بأسلوب له صفة العمومية ، وبمصطلحات غير محددة بالنسبة للتركيب الفعلي لمادة الإصلاح أو نسب مكوناتها مثل :

« مادة إصلاح مكونة من مركبين من المونة الأسمنتية المحسنة بالمواد البوليمرية المسلحة بالألياف » .

وهو تعبير غير محدد للمتخصصين الذين يجب أن يعرفوا التركيب الفعلي للمادة ونسب مكوناتها لتحديد مدى صلاحيتها للتطبيق المطلوب ، وإذا رجعنا ثانية للتوصيف السابق يتضح أن كل كلمة منه مطاطة لها صفة العمومية ، فكلمة مواد بوليمرية أو ألياف مثلها مثل كلمة حيوانات التي قد تبدأ بالفأر وتنتهي بالفيل وما بينهما ، فكلمة بوليمرات تعبير عن مئات الأنواع من المواد الراتنجية العضوية المختلفة ذات التركيبات والخواص المختلفة ، وكلمة ألياف قد تكون لألياف الزجاج أو البولي بروبيلين أو البولي إيثيلين أو الصلب المجلفن أو الصلب المقاوم للصدأ ، وحتى هذه الألياف تختلف في خواصها وأشكالها وكفاءتها حسب طبيعة تصنيعها وتركيبها ومعاملتها قبل الاستخدام .

وعادة عند طلب معلومات إضافية عما هو مذكور بالكتيبات والنشرات الخاصة بمنتجات الشركات - وهي المعلومات التي تختص بالتركيب الكيميائي أو نسب المكونات - فإن هذا الطلب في أغلب الأحيان يقابل بالاعتراض على أنه أحد أسرار الصناعة الخاصة بالشركة المنتجة وأنها غير لازمة للمستخدم ، كما لو كان الإبهام والمعلومة الناقصة هي طقوس استخدام هذه المواد .

ومن ناحية أخرى فعادة تحتوى الكتيبات والنشرات الخاصة بمواد الإصلاح على كلمات وعبارات تحذيرية مطاطة أيضا في مجملها ، تعفى المنتج من مسئولية أى عيوب

تظهر بالمواد بعد استخدامها مثل :

« تم أخذ جميع الاحتياطات الممكنة عند تصنيع وإنتاج المواد بحيث تفي بالاشتراطات والمواصفات القياسية ، وليس هناك ضمان لنتائج استخدام هذه المواد أو تبعات تلقى على الشركة المنتجة عند تطبيقها عن طريق غير المختصين ، حيث إن هذه النتائج تختلف تبعاً لطريقة التخزين والمناولة والاستخدام والظروف المحيطة وحالة العنصر وحالة السطح » .

ومما هو جدير بالذكر التنويه على أنه يجب على المستخدم إجراء جميع التحاليل والتجارب اللازمة لمعرفة طبيعة هذه المواد ومدى صلاحيتها وفعاليتها للعمل المرشحة للاستخدام فيه قبل التطبيق الفعلي ، وهو ما تنص عليه الكودات والمواصفات المحلية والعالمية قبل تحمل مسؤولية استخدام مثل هذه المواد .

٤ / ٢ - تحديد حالة الخرسانة :

في حالة ما إذا كان السبب وراء ظهور العيوب بالعناصر الإنشائية هو ضعف حالة الخرسانة ، فإنه يمكن استخدام مواد إصلاح ذات خواص أعلى إلى حد ما من الخواص الأصلية لاسترجاع حالة تلك العناصر ، ويجب أخذ عينات من خرسانة تلك العناصر لتحديد خواصها الفيزيائية والكيميائية والكهروكيميائية للاسترشاد بها في اختيار مادة الإصلاح .

والخواص الفيزيائية تشمل مقاومة الضغط والشد والتماسك وعلاقتها بالزمن ، وكذلك العلاقة بين الإجهاد والانفعال حتى الانهيار والزحف ومعامل التمدد الحراري وانكماش الجفاف والانفعالات الناتجة من دورات البلل والجفاف والنفاذية .

أما الخواص الكيميائية فتشمل تحديد محتوى القلويات والكلوريدات ، ومقدار تغلغل التحول الكربوني (Carbonation) داخل العنصر .

أما الخواص الكهروكيميائية فتشمل تحديد مقدار المقاومة الكهربائية والقاعدية (pH) وغيرها .

وجميع هذه الخواص المختبرة سواء الفيزيائية أو الكيميائية أو الكهروكيميائية ، يجب أن تكون مادة الإصلاح معروفة بخواص مثلها للمقارنة ، حتى يتم تحديد مدى ملاءمتها لعملية إصلاح محددة .

وعموما فإنه بعد الدراسات والأبحاث العديدة التي جرت في معامل شتى في أنحاء العالم ، فقد أصبح من المستطاع من خلال معرفة مكونات الخرسانة الوصول إلى قيم تقريبية لخواصها المتعددة بعدد محدود من الاختبارات ، وعليه فإذا كانت مادة الإصلاح هي مادة أسمنتية فيمكن من خلال معرفة مكوناتها الوصول إلى قيم تقريبية لخواصها دون الرجوع إلا إلى عدد محدود من الاختبارات ، أما إذا استخدمت البولييمرات كإضافات لمادة الإصلاح أو كعنصر أساسى فيها فإنه يجب إجراء اختبارات كافية شاملة - كما سبق ذكره - لتحديد قيمة المقاومة وكذلك السلوك العام والانفعالات المتولدة وغيرها ، والتي تختلف باختلاف درجات الحرارة والبلل والجفاف وطبيعة الحمل المعرضة له بدرجة كبيرة .

٤ / ٣ - التماسك بين مادة الإصلاح والخرسانة :

• إن مفتاح النجاح لأعمال الإصلاح الإنشائية هو فى المقام الأول ضمان نقل الأحمال والقوى من الخرسانة إلى مادة الإصلاح ومن مادة الإصلاح إلى الخرسانة ، وعادة ما يتم الانتهاء فى أعمال الإصلاح فى المنطقة ما بين سطحى التلامس لمادة الإصلاح والخرسانة ، ويرجع ذلك إلى عدة عوامل ، منها : الانكماش والانفعالات الحرارية المختلفة والأحمال المعرض لها العنصر .

ومقاومة المنطقة التى يتلامس فيها سطحى مادة الإصلاح والخرسانة (Interface) تتأثر تأثرا كبيرا بالمقاومة الدنيا للشد والقص لكل من :

• الخرسانة الأساسية بالعنصر

• الخرسانة التى تقع تحت طبقة السطح المجهز لتطبيق مادة الإصلاح ، والتى قد يكون أصابها التفتت نتيجة الإصابة الأصلية أو عملية إعداد السطح للإصلاح .

• طبيعة السطح الذى ستجرى عليه عملية الإصلاح .

• مادة دهان السطح لزيادة التماسك مع مادة الإصلاح .

• مادة الإصلاح .

وحالة السطح الذى سيتم تطبيق مادة الإصلاح عليه ذات أهمية بالغة ، فإذا كان أملسا بدرجة كبيرة فسيؤدى ذلك إلى إضعاف التلاصق والتماسك بين مادة الإصلاح وحجم العنصر ، وإذا كان شديد الخشونة فسيؤدى ذلك إلى وجود هواء محبوس أسفل

طبقة الإصلاح وبالتالي يؤدي إلى ضعف التماسك ، كما أن درجة الرطوبة والبلل لسطح العنصر الذي سيتم وضع مادة الإصلاح عليه تمثل أهمية كبيرة ، فالرطوبة القليلة أو الجفاف تعني أن خرسانة العنصر قد تمتص قدرا من ماء الخلط بمادة الإصلاح مما يخل بمكوناتها ويؤثر على خواصها ، كما أن زيادة الرطوبة أو بلل السطح تمنع تغلغل المادة الأسمنتية في منطقة سطح التماس بين مادة الإصلاح والعنصر مما يضعف من التماسك ، وعموما فإن هذه الجزئية الخاصة بالرطوبة والبلل عادة ما تكون قاصرة وغير واضحة في العديد من النشرات والكتيبات الفنية الخاصة بمنتجات مواد الإصلاح ويجب الاهتمام بها .

والاختبارات التي تجرى مسبقا قبل الاختيار الأمثل لمادة الإصلاح تمثل أهمية عظمى ، واختبار أخذ عينة القلب الخرساني من أحد العناصر بعد تطبيق مادة الإصلاح عليه ودراسة التركيب الصخري لها Petrographic examination وكذلك عمل اختبار شد لتحديد قوة مادة الإصلاح وقوة التماسك بينها وبين خرسانة العضو وذلك قبل تعميم استخدام هذه المادة للعمل المطلوب كله ، تعتبر اختبارا أساسيا لتحديد مدى ملائمة مادة الإصلاح لهذا العمل ، كما أن نتائج الاختبارات والأبحاث التي أجريت سابقا على نفس مادة الإصلاح تحت نفس ظروف التشغيل والتي يمكن الحصول عليها من الشركات العاملة في مجال الإصلاح أو من الشركات المنتجة للمواد تكون ذات فائدة استثمارية كبيرة ، ولكن لا تعفى هذه البيانات من إجراء الاختبارات اللازمة على المادة ذاتها وإمكانية تطبيقها على حالة بعينها تحت الظروف الحقيقية للتشغيل .

ويجب أن يوضع في الاعتبار أنه في سوق مواد الإصلاح فإنه جنبا إلى جنب توجد الشركات المنتجة لمواد ذات خلطات ثابتة معرفة ، يتم اختبارها دوما لضبط جودتها ، وكذلك توجد شركات تجنح إلى التوفير في تكلفة إنتاج مادة الإصلاح بتغيير المكونات أو إضافة بعض المواد التي لا تمثل حيوية في مادة الإصلاح مع تغليف منتجاتها بهالة من الغموض العلمي والمسميات الطنانة والتي قد تتشابه مع أسماء لمنتجات أخرى تنتجها شركات أخرى ، وعليه فاختبارات تحديد الخواص الحقيقية للمنتج الذي سيجرى استخدامه هي اختبارات حتمية وواجبة ، وتكرر مع كل شحنة جديدة تورد .

٤ / ٤ - توقع أماكن الشروخ في عملية الإصلاح :

قد تحدث شروخ في مادة الإصلاح أو في العنصر تحت الإصلاح أو في منطقة

التلامس والتداخل بين مادة الإصلاح الجديدة والعنصر (Interface) ، وعموما فإن مقاومة الشد للخرسانة تمثل حوالى ١٠٪ من مقاومتها للضغط ، ومنحنى الإجهاد والانفعال للخرسانة تحت أحمال الضغط يتغير إلى اللاخطية - أى مرحلة اللدونة - عند انفعال حوالى 1500×10^{-6} مم رمم ، ويتم الانهيار عند انفعال حوالى 2500×10^{-6} ، وهو أقل من المقترح فى المنحنى المثالى بالكود البريطانى والمقدر بانفعال 3500×10^{-6} ، وبالنسبة للشد فإن الانهيار يحدث عند انفعال قدره $200 - 300 \times 10^{-6}$ مم ، وبالنسبة لمادة الإصلاح فإنه يلزم أن يكون منهجها فى التصرف المرن واللدن قريب من منهج الخرسانة هذا .

وعادة لا يتم الانهيار فى أعمال الإصلاح تحت إجهادات الضغط المتولدة فى مادة الإصلاح ذاتها ، وعليه فيجب أن يكون شاغلنا الأول هو الوصول إلى أتخذ الأقصى لمقاومة الشد لخرسانة العنصر ومادة الإصلاح وسطح التلامس والتداخل بينهما ، وتوافق الانفعالات بين مادة الإصلاح ومادة العنصر تمثل أهمية حيوية وذلك تحت ظروف التشغيل المختلفة من رطوبة وحرارة .

٤ / ٥ - الخواص الميكانيكية :

إن ثبات خواص مادة الإصلاح وثبات حالة سطح التداخل بين مادة الإصلاح والعنصر الجارى إصلاحه (Interface) من حيث الحالة الكيميائية والكهروكيميائية ، وكذلك مقدار التوافق بين مادة الإصلاح ومادة العنصر محل الإصلاح من الأساسيات فى نجاح عملية الإصلاح ، والجدير بالذكر أنه كلما زاد عدد العناصر المكونة لخلطة مادة الإصلاح كلما زادت العملية تعقيدا .

ومراجعة الثبات الكيميائى لسطح التداخل بين مادة الإصلاح وخرسانة العنصر محل الإصلاح تتوقف على تفاعل الركام ذى السيليكا النشطة مع القلويات - راجع قسم (٥/٢/٢) من الباب الرابع - وهى تمثل مشكلة فى الخلطات ذات نسبة الأسمنت العالية وفى أحيان كثيرة يفضل استخدام أسمنتات ذات نسبة قلوية منخفضة أو أسمنت أبيض لتجنب هذه المخاطرة ، كما أن هناك مشكلة أخرى لبعض البوليمرات ترجع إلى حساسيتها للرطوبة وللقلوية الشديدة فى الخرسانات ، كما أن مواد الإصلاح ذات النفاذية الضئيلة قد تسبب حصاراً للماء خلفها مما قد يؤدي إلى ضغط بخار أو تمدد نتيجة التجمد الناتج من الانخفاض الشديد لدرجة الحرارة وتحول الماء إلى ثلج (Frost) ، وبالتالي

حدوث عيوب فى عملية الإصلاح .

٤ / ٦ - الألياف :

أصبحت عملية إدماج الألياف فى مواد الإصلاح موضحة كثيرة الاستعمال ، على الرغم من أنه فى حالات كثيرة فإن وجود الألياف قد يؤدى إلى مشاكل وأضرار أكثر من الفائدة المنتظرة منها ، فعند استخدام الألياف الزجاجية هناك احتمال تحليلها نتيجة القلوية والرطوبة الزائدة بالخلطة ، مما سيكون له تأثير ضار على المقاومة والتغيرات اللاحقة تحت الأحمال .

المادة	معايير المرونة كيلونيوتن / مم ^٢	معامل التمدد الحرارى X ١٠ - ٦ / ٥ م	الانفعالات الناتجة من التغيرات فى الرطوبة النسبية من ٥٠ % ١٠٠ % X ١٠ - ٦ / ٥ م
صلب	٢٠٠	١٢	صفر
أسمنت	١٤	١٨	٣٠٠٠
مونة ١ : ٣ م / س = ٠.٥	٢٠	١١	١٢٠٠
مونة ١ : ٢ : ٤			
م / س = ٠.٥	٣٠	١٢	٤٠٠
زجاج	٧٠	٧	صفر
ركام جرانيت	٤٥	٧	صفر
بولى بروبولىن	-	-	صفر
نيلون	-	-	١٥٠٠

جدول (٤/٦) - خواص المواد الإنشائية المختلفة .

- ١ - عدم الحصول على توزيع متجانس للألياف أثناء الخلط .
 - ٢ - صعوبة الخلط مع صعوبة الدمك عند سطح التلامس مع العنصر محل الإصلاح .
 - ٣ - تجمع الألياف لتكوين حزم قد تسبب تجمع الكلوريدات أو ثانى أكسيد الكربون .
 - ٤ - احتمالات حدوث الصدأ نتيجة تجمع حزم الألياف الصلبة .
- وفى أغلب أعمال الإصلاح فإن الاختيار الصحيح للركام المستخدم فى مادة الإصلاح يمثل عنصراً أساسياً وفعالاً لنجاح مادة الإصلاح عند إضافة الألياف .

٤ / ٧ - الجو المحيط :

من أهم الأسباب وراء عدم توافق الانفعالات بين مادة الإصلاح والخرسانة هو الاختلاف فى حركة الرطوبة بينهما ، والذي قد يؤدى إلى معدل جفاف أسرع لمادة الإصلاح ، كما أن الاختلافات الحرارية تمثل أيضاً عاملاً له وزنه وتأثيره على جودة وفاعلية الإصلاح ، وطبعاً فإن الإصلاحات تحت مستوى الأرض أو للعناصر التى ستغمر بالماء تعتبر حالات نموذجية للتغلب على الإجهادات والانفعالات البيئية لهذه المواد ، وذلك يرجع إلى الحد من الانفعالات الناتجة من عملية الإماهة لمادة الإصلاح والناتجة عن تغيرات الجو المحيط ، أما بالنسبة لمواد الإصلاح التى تتعرض إلى حرارة الشمس المباشرة أثناء النهار وما يتبعه من تمدد ، وإلى برودة فى الليل وما يتبعه من انكماش ، فإن هذه المواد تتأثر فاعليتها نتيجة لذلك .

ولقد تم إجراء أبحاث عديدة باستخدام نماذج رياضية صممت خصيصاً لتحديد وتحليل الإجهادات الناتجة من انكماش الجفاف أو التغيرات الحرارية ، وهذه النماذج الرياضية يمكن اللجوء إليها فى اختبار مدى كفاءة مواد الإصلاح للخرسانة ، كما أنه يجب تدعيمها بتجارب حقلية واقعية تحت ظروف التشغيل الفعلية وفى الجو الحقيقى الذى سيتم فيه إجراء أعمال الإصلاح ؛ لأن التجارب المعملية المسيطر عليها والمتحكم فى ظروف إجرائها قد لا تعطى النتائج الحقيقية المثلة لما سيحدث فى الواقع تحت ظروف التشغيل الحقيقية .

٤ / ٨ - الخلاصة :

- ١ - يجب أن يكون هناك توافق بين مواد الإصلاح والمواد المكونة للعنصر محل

الإصلاح (Repair like with like) .

- ٢ - لا تقبل مواد إصلاح غير معرفة التركيب تعريفاً كافياً وغير محررة الخواص .
- ٣ - لا تقبل مواد إصلاح ذات مكونات إضافية مثل الألياف أو البوليمرات ما لم تثبت فاعليتها وجدواها في عملية الإصلاح المحددة .
- ٤ - يجب التعامل مع خلطة مواد الإصلاح وتغيير نسبها للحصول على الخواص التي تناسب وتوافق خواص الخرسانة في العنصر الإنشائي الذي سيجرى إصلاحه ، ويمكن تحسين خواص الخلطة بالآتي :
- أ - تقليل طفيف في المقاس الاعتباري الأكبر للركام المستخدم
- ب - تقليل نسبة الماء إلى الأسمنت .

المادة	مونة أسمنتية	مونة بولي استر	مونة ابوكية
الخاصية			
سرعة اكتسابها للخواص المميزة	بطيئة	سريعة جداً	سريعة
المقاومة	مشابهة للأساس الخرساني	أعلى جداً من الأساس الخرساني	أعلى من الأساس الخرساني
استخدام دهانات للسطح الخرساني قبل وضعها	يفضل	ليس في حاجة	أساسي
الانكماش	يحدث	عالي جداً	قليل
التكاليف	قليلة	متوسطة	عالية
سهولة الاستخدام	يحتاج إلى تصميم خلطة وتوجد عبوات جاهزة	مركبان في علبتين جاهزتين وسهلتى الاستعمال	ثلاث عبوات جاهزة
المقاومة لدرجة الحرارة	حتى ٢٠٠ م	حتى ٥٦٠ م ثم تحدث مشاكل زحف	حتى ٥١٥٠ م ولكن تقل المقاومة تدريجياً بعد ٥٦٠ م
نوع الاستعمال	إنشائي	غير إنشائي	غير إنشائي

جدول (٥/٦) دليل استرشادي (مقارن بين بعض مواد الإصلاح)

- جـ - استخدام الإضافات لتحسين القابلية للتشغيل .
- د - استخدام مواد بوليمرية لتحسين الخواص والأدائية .
- ٥ - يراعى تجهيز سطح العنصر المراد إصلاحه بحيث يمكن الوصول إلى أقصى تماسك مع مادة الإصلاح .
- ٦ - يجب التأكد من أن مادة الإصلاح ستكون ثابتة كهروكيميائيا لمنع الصدأ الذى قد تسببه أو قد يحدث من العوامل المحيطة .

٥ - دليل استخدام مواد الإصلاح

هناك العديد من المواد المستخدمة في أعمال الإصلاح للمنشآت الخرسانية المسلحة كما سبق إيضاحه ، ومن أكثر هذه المواد استخداماً المواد الأسمنتية والمونة الإيبوكسية والمونة الراتنجية المستخدم بها البوليستر ، وجدول (٥/٦) يمكن الرجوع إليه كدليل استرشادي عند اختيار إحدى هذه المواد في أعمال الترميمات والإصلاحات .

وعموماً فيوجد في السوق المصري في الوقت الحالي العديد من الشركات والمكاتب الفنية التي يفرديها الموا. الحديثة المستخدمة في أعمال الترميمات والإصلاح والتقويات والعزل ، وتقدم هذه الجهات النشرات العلمية والتكنولوجية اللازمة للاسترشاد بها عند استخدام هذه المواد ، والجدير بالذكر أنه يلزم عمل التجارب المعملية لتحديد كفاءة هذه المواد تحت ظروف التشغيل الفعلية قبل السماح باستخدامها ، والجدول رقم (٦/٦) يعطى أمثلة لبعض هذه المواد .

المادة	الاستخدامات	مقاومة الضغط كجم / سم ^٢	الاسم التجاري
مواد إصلاح أستميتية	لأعمال الإصلاح السريعة ووصل البلوكات الخرسانية وحوائط المباني	حتى ٣٠٠ كجم/سم ^٢	رنوردك
مواد إصلاح وربط راتنجية	لأعمال الإصلاح السريعة والمدايك ووصل وعمل تكميل للخرسانة وأعمال الطوب	حتى ١٠٠٠ كجم/سم ^٢	ريسا فيل
مواد حشو إيبركسية ذات النسب حصر	لحشو الفراغات بالملئ الخرسانات يس ٢٥ و ٠ مم حتى ٩ مم	حتى ٧٠٠ كجم/سم ^٢	كونبلكس إي-بي ٦٣٧-ال-في
مونة إيبركسية عالية التركيب البنائي	إصلاح سريع ودائم للمنشآت التي انفصل غطاؤها الخرساني خاصة في العناصر الرأسية أو الوجه الأسفل من المسطحات الأفقية أو حالة الإصلاحات المتكررة للعناصر	حتى ٤٥٠ كجم/سم ^٢	نيو مورت التي-بي
مونة إيبركسية عالية من المتدليات	أعمال الإصلاحات السريعة والدائمة للمنشآت التي انفصل غطاؤها الخرساني وكمرقذ للوحدات سابقة نصب وأعمال الإصلاح لجميع الأعمال ذات الأساس الأستمي	حتى ٦٨٠ كجم/سم ^٢	نيو مورت ٥
راتنج إيوكس كعاس لاصق للخرسانة	لربط المواد الأستميتية الحديثة بالأسطح الأستميتية الموجودة سابقا	حتى ٥٠٠ كجم/سم ^٢	نيو بوند
نواصتاتنجية متعددة الأغراض سادة للسماد أو إضافات الأستمي	لنواصت متعددة الأغراض وللاصقة لأعمال البياض والإصلاح للخرسانة ولربط الأحجار ولصق البلاط	يزيد مقاومة الضغط	سسي - بوند
لواصت راتنجية مقاومة للماء ولزيادة اللصق وتحسين خواص المونة الأستميتية	للصق طبقات نفضيات الأرضيات الرفيعة وتسيية سطح الأرضيات وإصلاح خروقات وأعمال الطوب	٣٥٠ كجم/سم ^٢	سسي-بوند ال-إكس

جدول (٦/٦) أمثلة لبعض المواد الحديثة المتوفرة في السوق المحلي

المراجع

- 1 - **RILEM Working Group, Admixtures.:**
" Classifications and Definitions of Admixtures"
International RILEM Symposium on Admixtures for Mortar and Concrete, Brussels, 1967.
- 2.- **Steinborg, M., :**
" Concrete Polymer Materials and Its Worldwide Development".
ACI, SP 40, 1974.
- 3 - **Dikeow, J.T., :**
" Review of Worldwide Development and Use of Polymers in Concrete", Proceedings of the First International Congress on Polymer Concrete, 1976.
- 4 - **Zivica, V., :**
" The Properties of Cement Paste with Admixture of Polyvinyl Acetate Emulsion, " RILEM Bulletin No. 28, September, 1965.
- 5 - **Pierzchala, H. :**
" Physical and Strength Characteristics of Cement Mortars with Admixture of Polyvinyl Acetate Emulsion ", RILEM Bulletin No. 28, September, 1965.
- 6 - **Hosec, J., :**
" Properties of Cement Mortars Modified by Polymer Emulsions
ACI, December, 1966.
- 7 - **Kreijger, P.C., :**
" Improvement of Concrete and Mortar by Adding Resins" , RILEM, May - June, 1968.
- 8 - **Mrs. Perenyi, C., :**
" Polymer Modified Mortars ", RILEM, June - Feb., 1968.
- 9 - **Ghosh, R.K., Pant, C.S., :**
" Use of Low Percentage of PVA as an Admixture to Cement Concrete ", International RILEM Symposium :, RILEM, May - June, 1968.

- 10 - DE Vekay, R.C., Majumdar, A. J. :**
"Durability of Cement Pastes Modified by Polymer Dispersions"
RILEM , July - August, 1975.
- 11 - Ohama, Y., :**
"Comparison of Properties with Various Polymer - Modified Mortars ", International RILEM Symposium "Experimental Research on New Developments Brought by Synthetic Resins to Building Techniques" Paris, September, 1967.
- 12 - Dutron, P., Collet, Y. :**
"Etude des Proprietes Physiques et Meconiques des Mortiers de Ciment Resine". International RILEM Symposium "Improvement of Concrete and Mortars by Adding Resins", RILEM - May -June 1968.
- 13 - Cherkinsky, Ju. S. :**
"Practice and Theory of Polymer Concrete", International RILEM Symposium "Experimental Research on New Developments Brought by Synthetic Resins to Building Techniques", Paris, September, 1967.
- 14 - Desov, A.E. , :**
"The Effect of Polyvinyl Acetate Emulsion and Synthetic Rubber Latex on the Strength and Durability of Mortars" . International RILEM Symposium "Experimental Research on New Developments Brought by Synthetic Resins to Building Techniques", Paris , September, 1967.
- 15 - Wagner, H., :**
"Properties of Cement Mortars Modified by Polymer Emulsions ", ACI., June, 1967.
- 16 - Schulze, W., Lange, H. :**
"The Effect of Bitumen Emulsion and Synthetic Resin Additives on the Behaviour of Concrete." International RILEM Symposium "Experimental Research on New Developments Brought by Synthetic Resins to Building Techniques " . Paris , September, 1967.

- 17 - Akihama, S., Morita, H., Watanabe, S., Chida, H. :
 "Improvement of Mechanical Properties of Concrete Through
 the Addition of Polymer Latex, ACI, SP - 40, 1974 .
- 18 - Kubota, H., Sakane , K. :
 "A Study on the Improvement of Cement Mortar by Admixing
 Polymer Emulsion and Synthetic Fiber" ., International RILEM
 Symposium " Experimental Research on New Developments
 Brought by Synthetic Resins to Building Techniques", Paris,
 September, 1967 .
- 19 - Ohama, Y. :
 "Cement Mortars Modified by SB Latexes with Variable Bound
 Styrene " ., International RILEM Symposium "Improvement of
 Concrete and Mortars by Adding Resins :, RILEM May - June,
 1968.
20. Raff, R.A.V. Austin, H. :
 "Epoxy Polymer Modified Concretes", ACI, SP - 1974.
- 21 - Dikeou, J.T., Kukacka, L.E. Backstorm, J.E.
 Steinbers, M. :
 "Polymerization Makes Tougher Concrete ", ACI , October,
 1969.
- 22- Depuy, G.W. Dikeou, J.T. :
 "Development of Polymer Impregnated Concrete As A Con-
 struction Material For Engineering Projects" , ACI, SP - 40,
 1974.
- 23 - Rukacka, L.E., Romano, A.J., :
 "Process Techniques for Producing Polymer - Impregnated
 Concrete " ACI, SP -40, 1974.
- 24 - Steinberg, M. et al. :
 "Concrete Polymer Materials, First Topical Report", BNL
 50134, Brookhaven National Laboratory, Upton, New York,
 December, 1968.
- 25 - Arredondo, F., Fontan, J., Fedoz, M., Madruga, J. :
 "Polymerized Concrete", VII International Congress of the Pre-
 cast Concrete Industry, BIBM, 1972 .

- 26 - Sopler, B., :**
" Polymer Concrete Current Research In Concrete Industry ",
BIBM, 1972.
- 27 - Sopler, B. Fiorato, A.E. Lenschow, R. :**
" A Study of Partially Impregnated Polymerized Concrete Specimens", ACI, SP - 40, 1974.
- 28 - Warren K. :**
" Resin Bonded Concrete", RILEM September, 1965.
- 29 - Omaha, Y. :**
" Mix Proportions and Properties of Polyester Resin Concrete".
ACI, SP - 40, 1974 .
- 30 - Blaka, L.S., Sttecker, P.P. :**
" Epoxy Resin for Repair of Concrete, " RILEM, September 1968.
- 31 Rowland, J. :**
" Acrylic and Unsaturated Polyester Resins As Adhesives" .The
Journal of Concrete Society, January, 1970, Vol. 4, No. 1 .
- 32 Davies, P.E.**
" Epoxy Resins and Their Uses With Concrete", The Journal of
Concrete Society, January, 1970, Vol. 4, No. 1.
- 33 - Bijen, J. :**
" Maintenance and Repair of Concrete Structures" Heron, Vol.
34, No. 2, 1989, 83 P.

الباب السابع

وسائل صيانة المنشآت الخرسانية وحمايتها

أ . د . شريف أبو المجد

مقدمة :

إن تصدع المنشآت الخرسانية مشكلة خطيرة ، ليس لتأثيرها على سلامة شاغليها فقط وإنما للتكلفة العالية والجهد الكبير الذى يتطلبه إصلاح التصدع إذا حدث ، وبالإضافة إلى ذلك فإن تصدع المنشآت يؤدي إلى إقلاق شاغليها وعدم راحتهم - المباني السكنية - وتعطيل العمل أو إعاقته - المنشآت الصناعية - وقد يصل الأمر إلى حد الكارثة فى حالة الانهيارات - راجع الباب الثانى .

وبالنسبة للعاملين فى حقل التشييد فإن مشكلة تصدع المنشآت لها شقان : المنع والعلاج ، منع التصدع من أن يحدث وعلاج المنشأ إذا حدث ، ولما كانت الوقاية خير من العلاج فإن وسائل منع التصدع تصبح أهم من طرق علاج وإصلاح المنشآت ، ووسائل منع التصدع تشمل الاحتياطات التى تؤخذ فى الاعتبار أثناء مرحلتى التصميم والتنفيذ ، كما تشمل صيانة المنشآت بعد انتهاء تنفيذها .

وقد تبدو الاحتياطات الواجبة أثناء مرحلة التصميم سواء فى اختيار المواد أو نسب الخلط أو الإضافات أو التفاصيل الإنشائية مسألة بديهية فلا تعطى العناية الكافية ، ورغم أن العيوب التى تنشأ عن إغفال بعض هذه الاحتياطات قد تبدأ بسيطة ، فإن ما يترتب على هذه العيوب بالتأكيد سيكون خطيرا ، ولذا فيجب على الاستشارى أن يهتم بالتفاصيل التى تضمن منع التدهور ، ومنها :

- اختيار المواد المستعملة فى المنشأ ، ونسب خلطها ، والإضافات المطلوبة ، بحيث تناسب الظروف الجوية المتوقعة أثناء التنفيذ وما سيتعرض له المنشأ أثناء تشغيله .

- العناية بالتفاصيل الإنشائية ، وخاصة الوصلات ، والسماح بالحركة ، وتفاصيل حماية صلب التسليح ، وحماية الأعضاء الخرسانية المعرضة لظروف قاسية ، والعناية بتفاصيل

كراسة شروط التنفيذ ومواصفات الأعمال ، بحيث يتحقق من اتباع هذه التعليمات عدم حدوث أى تدهور خطير للمنشأ - على الأقل فى فترة العمر الافتراضى للمبنى .

كما يجب عليه أن يولى عملية الإشراف على التنفيذ ما تستحقه من أهمية ، وأن يكون لديه جهاز الإشراف الكفء الذى يعرف وسائل التنفيذ السليمة ويصر عليها .

وعلى هذه الدعائم الثلاثة : مواد مناسبة ، وتفاصيل سليمة ، وإشراف فعال ، تقوم عملية منع تصدع المنشآت وتؤدي دورها .

وقد قسمنا وسائل منع التصدع فى هذا الباب بنفس تقسيم أنواع الشروخ المختلفة بالباب الرابع ، لربط كل نوع من أنواع الشروخ بأساليب منع التصدع المناسبة له .

١ - تأكيد وضبط الجودة (Quality Assurance and Control)

إن تأكيد وضبط الجودة من المفاهيم الحديثة في صناعة التشييد ، وتأثيرها لا يقتصر على مرحلة التنفيذ وإنما يمتد ليشمل مرحلتى التصميم والتخطيط ، واتباع سياسة تأكيد الجودة ووسائل ضبطها سيؤدى إلى منع أغلب العوامل التى تؤدى إلى تدهور المنشآت الخرسانية ، حيث إن التحمل مع الزمن أحد أهم الجوانب التى تركز عليها هذه السياسات والوسائل .

ما معنى الجودة ؟

وقبل الدخول فى تفاصيل موضوع تأكيد وضبط الجودة لابد من تحديد ماذا نعنى بكلمة الجودة (Quality) بالتحديد ؛ لأنه فى صناعة التشييد يصعب تحديد معنى الكلمة ، إذ أن لكل طرف من الأطراف المعنية رأياً عن معناها يختلف عن رأى الأطراف الأخرى ، كما أن الكل يتحدث عن جودة المواد ، جودة المنتج وجودة القياسات وجودة التصميم ... الخ ، كما تستعمل الجودة فى وصف العمالة وفى وصف الحياة نفسها ، وطبعاً أن معنى الجودة يختلف فى كل حالة عن الأخرى .

وقد تعرف الجودة بأنها القيمة الفنية للمواد والمنتجات ، وقد تعرف بأنها إتقان العمل بالنسبة للعمالة والتصميم ، وقد وسع اليابانيون مفهوم الكلمة بحيث عرفوا الجودة بأنها هى التى تحقق احتياجات العميل بشكل مرضى ، وقد يكون من أفضل تعريفات الجودة أنها هى الصلاحية للوظيفة أو الغرض (Fitness for Purpose) ، واتفق الخبراء على :

١ - أن الجودة هى مفهوم نسبى .

٢ - الحكم على الجودة ممكن فقط إذا تم ربط مواصفات المنتج باحتياجات الاستخدام .

٣ - جودة منتج ما بنفس المواصفات تختلف باختلاف المستعمل وطبيعة الاستعمال .

ولهذا فالاتجاه الحديث هو أنه من الضرورى وضع سياسات لتأكيد الجودة توضح احتياجات المالك بدقة لقياس جودة المواد والمنتجات بالنسبة لهذه الاحتياجات ، وقد وضع تعريف لعملية البناء كالتالى :

« عملية البناء هى سلسلة من الأنشطة تبدأ من الحاجة (need) إلى الاستعمال

(Use) ، فهي تبدأ من حاجة العميل إلى مبنى لأداء وظيفة معينة ، وتنتهى برضاء (Satisfaction) العميل عن المبنى المسلم إليه .

وبذلك أصبحت نقطة النهاية هي نفسها نقطة الابتداء وهي العميل ، فلم تعد عملية البناء عملية خطية (طلبات العميل - التصميم - التنفيذ - الاستلام) وإنما أصبحت دائرية أو بالأحرى حلزونية ، بحيث أصبح السبب - التأثير (Cause - effect) ، علاقة شبكية (network) .

وقد اختلف الاتجاه التقليدي لعملية البناء عن الاتجاه الحديث في عدة مفاهيم ، ملخصه في جدول (١ / ٧) ، وعلى أساس هذه المفاهيم الجديدة دخلت سياسية تأكيد الجودة . كما أن الاهتمام بالجودة يتم في كل مراحل عملية البناء الآن كما يظهر في جدول (٢ / ٧) .

١ / ١ - تعريفات :

تأكيد الجودة (QA) Quality Assurance :

هي جميع الأفعال المخططة مسبقاً أو الضرورية للتأكد من أن المنتج النهائي سوف يؤدي الوظيفة المطلوبة منه - تأكيد الجودة هي أداة إدارية (Management tool)^(١) .

ضبط الجودة (QC) Quality Control :

هي الوسائل المتعلقة بالخواص الطبيعية للمواد والعمليات والخدمات والتي تعطى طريقة لقياس وضبط الخواص على معيار كمي سابق تحديده - وضبط الجودة هي أداة إنتاج (Production tool) .

نظام تأكيد الجودة (QAS) Quality Assurance system :

هو نظام تحكم (ضبط) إداري ، يضع مقدماً متطلبات المالك وتخصيص المسؤوليات والتعهدات والتي تسجل في خطة تأكيد الجودة ، وتنفذ بواسطة برامج الجودة لتعطى وسائل التحكم في الأنشطة المؤثرة في الجودة طبقاً لمتطلبات سابق تحديدها .

والمالك أو من يمثله هو المسؤول عن تخطيط الجودة وإدارة أعمال تأكيدها ، والتي تشمل اختيار الهيئات والأفراد الأكفاء وإقامة نظام تأكيد للجودة يفي بأهداف المالك ، وإذا كان المالك ليست لديه المهارات المطلوبة لذلك فعليه توظيف هيئة أو فرد يقوم بهذه الوظيفة .

النشاط	الاتجاه التقليدي	الاتجاه الحديث	ملاحظات
أ- الجوانب الأساسية :			
عملية البناء	التصميم / التنفيذ	التصميم / التنفيذ بالإضافة إلى التخطيط / الاستعمال	كل المراحل تؤخذ في الاعتبار في آن واحد والتأثير بينهما متبادل
العلاقة بين السبب والتأثير	علاقة خطية	علاقة شبكية	السبب والتأثير تتبادل التأثير إحداها مع الأخرى
المتطلبات	الأمان حسن أداء الوظيفة التحمل مع الزمن الوفر المظهر	كلها بالإضافة إلى : مناسب للظروف المحيطة سهولة الوصول للأجزاء المختلفة سهولة تبديلها سهولة تغير الوظيفة سهولة الإزالة	<ul style="list-style-type: none"> - ظروف البيئة تؤخذ في الاعتبار - لإجراء الفحص الدوري - قد يكون العمر الافتراضي مختلف للأجزاء المختلفة - الوظيفة قد تتغير مع الوقت - كيفية الإزالة تؤخذ في الاعتبار عند التصميم
مفهوم الاحتمال Actions	هي القوى والعزوم (احتمال ميكانيكية) + تأثير الحركة	نفسها بالإضافة إلى أحتمال البيئة (احتمال طبيعية وكيميائية)	اهتمام التصميم بالأمان بحيث أن يشمل التحمل مع الزمن (العوامل المؤثرة طوال العمر الافتراضي للمبنى)
مفهوم الأمان Saftey	التصميم يحسب على أحتمال تعدد المواصفات (فعل سلبي)	التصميم يعرف المخاطر ويتعامل مع كل منها في التصميم (فعل إيجابي)	<ul style="list-style-type: none"> - التصميم يتفادى المخاطر أو يعمل على إبطال مفعولها أو يقللها مسبقاً - خطة تأمين المبنى يضمنها التصميم على أساس تعريفه للمخاطر
ب- الجوانب العملية :			
الاهتمام الأساسي	المباني الجديدة	المباني القائمة	اهتمام أكبر بالعوامل المؤثرة طوال العمر الافتراضي للمبنى
العوامل الأساسية	التكلفة/ الوقت	نفسها بالإضافة إلى الجودة	التركيز على الجودة من بداية عملية التخطيط ودراسة الجدوى
الوفر مركز في :	تكلفة الإنشاء	التكلفة طوال العمر	تشمل التكلفة طوال العمر تكلفة الصيانة والطاقة وإدارة المبنى كما تشمل تكلفة إصلاح أي تدهور يحدث
التركيز على :	التنفيذ	التخطيط والتصميم	القرارات التي تؤخذ مبكراً يكون لها تداعيات أكبر
التحكم في المواد :	اختبار قبول في الموقع	شهادة الجودة قبل التوريد (نظام القبول)	<ul style="list-style-type: none"> نظام قبول المواد يشتمل على : ١ - قبول مسبق للمنتج ٢ - مراقبة مسبقة للمنتج ٣ - فحص خارجي على الإنتاج
التحكم في التنفيذ	المشرف يراقب المتناول	المقاول يراقب نفسه تحت إشراف المشرف	نظام قبول التنفيذ التقليدي يزيد عليه القبول المسبق وهو قبول نظام ضبط الجودة للمقاول
التحكم في التصميم	استثنائي	أساسي	-
العناية موجهة إلى :	الأخطاء الفنية	نفسها بالإضافة إلى أخطاء المنظمة وأخطاء الأفراد	مفهوم ضبط الجودة يتسع ليشمل سياسة تأكيد الجودة

جدول (٧ / ١) الفارق بين الاتجاه التقليدي والحديث في عملية البناء

المرحلة	النشاط	الهدف	ملاحظات
أ	تحديد الاحتياجات	توضيح الجودة To Focus Quality	هل المبنى ° هو أفضل الحلول للوصول إلى متطلبات المالك
ب	التخطيط للمشروع ما قبل التصميم	تحديد الجودة	-
جـ	ما قبل التصميم	تعريف الجودة To Define Quality	احتياجات حسن الأداء
د	التصميم	توصيف الجودة To Offer Quality	الحلول الفنية
هـ	التخطيط للتنفيذ	عرض الجودة To Offer Quality إقرار الجودة To Decide Quality	تحضير مستندات العطاء المفاضلة بين العروض (السعر والجودة) القرار
و	مرحلة التنفيذ	إنتاج الجودة To produce Quality ضبط الجودة To control Quality	تخطيط عملية التنفيذ القيام بالتنفيذ
ز	مرحلة التسليم	التحقق من الجودة To verify Quality	جودة المبنى
ح	مرحلة الاستعمال	المحافظة على الجودة To keep Quality	الصيانة الفحص الدورى

° المبنى = أى منشأ .

جدول (٧ / ٢) الجودة فى كل مراحل عملية البناء (٢)

١ / ٢ - نظام تأكيد الجودة :

١ / ٢ / ١ - أهداف ووسائل تأكيد الجودة :

إن أهداف نظام تأكيد الجودة موضحة بطريقة ملخصة في جدول (٢ / ٧) ، وهذه الأهداف تخدم في تحديد المسؤوليات لمنع حدوث أخطاء فنية أو بشرية .

ورغم أن وسائل تأكيد الجودة (QA measures) غير ثابتة في مجال الإنشاء إلا أن هناك عدة قوائم معدة بواسطة المنظمات الدولية لهذه الوسائل ، منها القائمة الموجودة في جدول (٣ / ٧) لوسائل تأكيد الجودة ، والقائمة الموجودة في جدول (٤ / ٧) لوظائف الأطراف المعنية بالنسبة لنظام تأكيد الجودة .

١ / ٢ / ٢ - عناصر نظام تأكيد الجودة :

نظام تأكيد الجودة - كما سبق تعريفه - يضع خطة تأكيد الجودة تشمل متطلبات المالك والمسؤوليات وأهداف الجودة والعلاقات التنظيمية ، ثم تنفذ هذه الخطة بواسطة برامج تأكيد الجودة - كما هو مبين في جدول (٥ / ٧) . .

١ / ٢ / ٢ / ١ - خطة تأكيد الجودة :

تسجل خطة تأكيد الجودة للمشروع أهداف الجودة للمالك ، ويجب إعدادها من البداية وفي المراحل المبكرة من البدء في التخطيط للمشروع ، ويجب أن تتضمن خطة تأكيد الجودة العناصر المبينة في جدول (٥ / ٧) كحد أدنى وهي :

أ - بيان سياسة المالك : وهي سياسة المالك لتصميم وتشيد وتشغيل منشأ معين بمستوى جودة يحقق أو يزيد عن اشتراطات الترخيص أو اشتراطات كود المباني أو أجهزة الحكومة .

ب - أهداف الجودة .

ج - مجال العمل في ضوء خطة تأكيد الجودة .

د - العلاقات التنظيمية والتداخلات .

هـ - وصف لنظام تأكيد الجودة الشامل الذي سيعمل في المشروع مع توضيح الجهات المطلوبة لإقامته وتنفيذه .

<p>المرحلة ب : التخطيط ودفع المشروع قدماً</p>	<p>المرحلة أ : مرحلة تحديد الاحتياجات</p>
<ul style="list-style-type: none"> - تعيين مدير المشروع - دراسة الاحتياجات الحقيقية للمالك - عمل قائمة بكل الجهات التي يجب أخذ رأيها في تأكيد الجودة - توصيف المحددات (التكلفة - الوقت النواحي القانونية والاجتماعية والبيئية) - توصيف التربة بالموقع 	<ul style="list-style-type: none"> - توصيف الاحتياجات الأصلية والجديدة - توصيف الحلول المحتملة لاستيفاء هذه الاحتياجات - الوصول إلى قناعة أن المبنى هو أحسن الحلول - تسجيل من هو المسئول عن الوصول إلى هذا القرار
<p>المرحلة ح : مرحلة الاستعمال</p>	<p>المرحلة هـ : التخطيط للتنفيذ</p>
<ul style="list-style-type: none"> - هل هناك ضرورة للتعاقد مع شركة لإدارة المبنى ؟ - تطبيق دليل استعمال المبنى - تطبيق دليل استعمال الفحص الدوري - تسجيل التغييرات والتعديلات في المعدات أو الاستخدام أو الظروف المحيطة 	<ul style="list-style-type: none"> - التحقق من سلامة التصميم واستيفاء متطلبات الترخيص - إعداد مستندات العطاء شاملة متطلبات الجودة وطريقة المفاضلة بين العطاءات - الحكم على مقترحات المقاولين لتأكيد الجودة . - أخذ حالة إفلاس المقاول في الاعتبار - اختيار المقاول وترسية العطاء

جدول (٣ / ٧) وسائل تأكيد الجودة (٢)

(راجع أرقام المراحل في جدول ٢ / ٧)

المرحلة فى المشروع	مرحلة نظام تأكيد الجودة	مصدر متطلبات نظام تأكيد الجودة	الجهة المسئولة عن المراجعة والتحريك
التخطيط	يضع المالك خطة تأكيد الجودة للمشروع	المالك ، مدير المشروع الاستشارى ، استشارى الجودة	مطلوب مراجعة المالك ، وموافقته إذا كانت خطة تأكيد الجودة قد وضعت بواسطة جهة أخرى
التصميم	يضع المهندس برنامج تأكيد الجودة للمالك لمراجعته قبل التصميم	خطة المالك لتأكيد الجودة ومرجع رقم (١)	المالك ومدير المشروع واستشارى الجودة يراجعون ويوافقون على خطة المصمم لتأكيد الجودة
اختيار المواد والخدمات	يقدم المورد برنامجه لتأكيد الجودة	خطة المالك لتأكيد الجودة ومستندات العقد ومرجع رقم (١)	يراجع المالك ومدير المشروع والمصمم واستشارى الجودة برنامج المورد لتأكيد الجودة
التنفيذ	يقدم مقاولو التنفيذ برامجهم لتأكيد الجودة	شرحه	يراجع المالك ومدير المشروع والمصمم واستشارى برنامج المقاول لتأكيد الجودة
اختبار المواد	يقدم معمل اختبار المواد برنامجا لتأكيد الجودة	شرحه	يراجع المالك ومدير المشروع والمصمم واستشارى برنامج معمل اختبار المواد لتأكيد الجودة

جدول (٧ . ٤) تنمية نظام تأكيد الجودة (١)

المستند	المحتوى	الجهات المسؤولة عن إعداد المستندات
نظام تأكيد الجودة	بيان سياسة المالك من هو المهندس أو الاستشارى أهداف الجودة العلاقات التنظيمية سلطات ومسؤوليات الجهات المختلفة	المالك ، مدير المشروع ، المهندس أو الاستشارى
	عناصر برنامج تأكيد الجودة الملائمة لمجال عمل كل جهة ؛ تحتوى على أو مزودة بخطوات تنفيذية	كل الجهات التى يطلبها المالك فى خطة تأكيد الجودة لإعداد برنامج الجودة

جدول (٧ / ٥) عناصر نظام تأكيد الجودة

دليل المسؤوليات التنظيمية :

المالك هو المسئول عن تنفيذ برنامج تأكيد الجودة لمشروعه ، ويمكن أن يعطى مسئولية وضع وتطوير وتحقيق تنفيذ نظام تأكيد الجودة إلى هيئة تعمل تحت توجيه مندوب المالك .

ويكون رئيس كل جهة تمارس أنشطة فى المشروع مؤثرة على جودة الخرسانة مسئولاً عن تحديد وتعريف واجبات ومسؤوليات الأفراد التى تقوم بأنشطة تؤثر فى الجودة ، كما يكون مسئولاً عن التخطيط للعمل واختبار وتدريب الأفراد لمقابلة متطلبات نظام تأكيد الجودة .

مسئولية المالك :

- ١ - وضع وتنمية خطة تأكيد الجودة متضمنة بيان سياسته وأهداف الجودة على أساس معلومات من الاستشارى ومدير المشروع واستشارى الجودة .
- ٢ - المراجعة والموافقة على وثائق العقد .
- ٣ - الفحص والإشراف الدورى للتأكد من استيفاء متطلبات تأكيد الجودة .

مسئولية المصمم أو الاستشارى :

- ١ - تحليل جميع الأهداف العامة والخاصة للجودة والمحددة بواسطة المالك .
- ٢ - تحليل جميع المتطلبات القياسية المحددة بواسطة المالك .
- ٣ - الاقتراح بتطوير تصميمات تقابل متطلبات وأهداف الجودة وتحديد خواص المواد طبقا لذلك .
- ٤ - إعداد مستندات العقد بحيث تفي بمتطلبات الجودة .
- ٥ - إعداد وتنسيق وتوثيق وتقييم جميع مراحل نظام تأكيد الجودة ، وتقديم تقارير للمالك عنه .
- ٦ - التوصية والمشاركة فى اختيار المقاول ، مقاول الباطن ، المورد ومعمل اختبار المواد .
- ٧ - إدارة برنامج داخلى لتأكيد الجودة بمستوى مناسب للمشروع .
- ٨ - الرفض أو الموافقة على الأعمال حسب متطلبات المشروع .
- ٩ - تقويم نتائج الاختبارات ومعلومات الفحص .
- ١٠ - مراجعة برنامج تأكيد الجودة الداخلية للمقاول ومقاولى الباطن والموردين ومعمل اختبار المواد .

مسئولية المقاول :

- ١ - اتباع مستندات العقد والمواصفات .
- ٢ - الأداء طبقا لبرنامج داخلى لتأكيد الجودة موافق عليه بمستوى يناسب المشروع .
- ٣ - متابعة التزام مقاولى الباطن والموردين بالشروط والمواصفات .
- ٤ - التحقق من أداء الفحوص والاختبارات فى مواعيدها .

مسئولية مقاول الباطن :

- ١ - اتباع مستندات العقد .

- ٢ - تأدية وتوثيق برنامج داخلي لتأكيد الجودة بمستوى يناسب المشروع .
- ٣ - تنسيق جميع الأعمال مع المقاول العمومي والتدخلات مع مقاولي الباطن الآخرين .

مسئولية المورد :

- ١ - توريد المواد بمواصفات طبقا لمستندات العقد .
- ٢ - تأدية وتوثيق برنامج داخلي لتأكيد الجودة بمستوى يناسب المشروع .

مسئولية معمل اختبار المواد :

- ١ - القيام بالفحوصات والاختبارات الضرورية لتحقيق إنجاز الأعمال طبقا لبرنامج تأكيد الجودة المختار بواسطة المالك والمحدد بواسطة الاستشاري ، وطبقا للمواصفات القياسية ومستندات العقد .
- ٢ - تأدية وتوثيق برنامج داخلي لتأكيد الجودة للتأكد من مطابقة النتائج للمواصفات المطلوبة .
- ٣ - تزويد المالك والاستشاري بتقارير دورية لجميع الاختبارات والفحوص التي أجريت .
- ٤ - قبول أو رفض الأعمال أو المواد طبقا للمواصفات المحددة .

ويجب عند وضع وتنمية خطة تأكيد الجودة للمشروع إدراك أن المشروع يتبلور من خلال عدة مراحل ، مثل المشروع الابتدائي (الفكرة) ، فالتصميم ، ف شراء المواد ، فالتنفيذ ، ثم الفحص قبل الموافقة على المنتج النهائي ، ولهذا فيحتاج نظام تأكيد الجودة إلى التنمية والتحديث مع تقدم المشروع ، فمثلا عندما يبدأ المالك ومستشاريه المناقشات المبدئية عن المشروع فقد يكون من الصعب تحديد كل الجهات التي ستشارك في التنفيذ والعلاقات التعاقدية والمسؤوليات وكيفية تطبيق نظام تأكيد الجودة بدقة ، لذا فيجب على المالك ومستشاري التصميم عمل مراجعة دورية لخطة تأكيد الجودة مع تحديثها كلما كان ذلك ضروريا خلال فترة تنفيذ المشروع ، مع تقديم نسخ من خطة تأكيد الجودة المحدثة لجميع الجهات المشاركة في مسؤولية تنفيذ التعديلات التي طرأت على خطة تأكيد الجودة ، كما يجب إجراء توثيق دقيق للتعديلات التي تم تنفيذها .

١ / ٢ / ٢ - برنامج تأكيد الجودة :

يصف برنامج تأكيد الجودة سياسات وممارسات ووسائل كل جهة لتنفيذ وثائق العقد ، وكل جهة يسند إليها مسئولية في خطة تأكيد الجودة لتنفيذ جزء من نظام تأكيد الجودة تقدم تفاصيل الطرق التي سوف تتبعها لمقابلة أهداف الجودة للمالك في برنامج تأكيد الجودة ، وسوف يتم توصيف متطلبات برنامج تأكيد جودة معين ملائم لكل جهة من الجهات عن طريق المالك أو من يختاره لعمل خطة تأكيد الجودة .

ويوضح جدول (٦ / ٧) عناصر برنامج تأكيد الجودة التي يجب أن تساهم فيها كل جهة ، ويجب على المالك أو من يختاره لوضع خطة تأكيد الجودة تنمية جدول مماثل على أساس أهداف الجودة والعلاقات التعاقدية للمشروع .

عنصر برنامج تأكيد الجودة	الاستشاري	المقاول العمومي	مقاول الباطن	المورد	معمل اختبار المواد
مسؤوليات تنظيمية	×	×	×	×	×
ضبط التصميم	×	×	×		
ضبط المواد		×	×	×	
الفحص	×	×	×	×	×
الاختبار والتقييم		×	×	×	×
التعرف على وإقرار					
الاشتراطات غير المستوفاة	×	×	×	×	×
التسجيل والتوثيق	×	×	×	×	×

العلامة (×) تبين أن الجهة يجب أن يكون لديها قسم في برنامجها لتأكيد الجودة لمخاطبة عنصر برنامج تأكيد الجودة الذي أمامه العلامة (×)

جدول (٦ / ٧) المفاهيم الضرورية لبرنامج تأكيد الجودة ^(١)

عناصر برنامج تأكيد الجودة :

أ - مسؤوليات تنظيمية :

يجب أن يحدد برنامج تأكيد الجودة الهيكل التنظيمي ، والذي يتم من خلاله تخطيط وتنفيذ برنامج تأكيد الجودة ، ويجب توصيف مسئولية وسلطة كل الجهات المشاركة بوضوح ، بحيث يتضمن ذلك تحديد الشخص والجهة المسؤولة عن إدارة وتوجيه برنامج تأكيد الجودة ، ولتسهيل الاتصال بين جهات المشروع في مختلف الأمور فإنه يجب وضع تعريف وتحديد مسئولية وسلطة الأفراد المتداخلة في الموقع وخارجه ، وتحديد نظام للتزويد بالمعلومات المطلوبة .

ب - ضبط التصميم :

يجب تحديد أسس التصميم مثل الكودات المستعملة والمعايير وفروض التصميم والمتطلبات الخاصة ، كما يجب توثيق الحسابات لمراجعتها والموافقة عليها ، وكذلك يجب مراجعة الرسومات للتحقق من التطبيق السليم لحسابات التصميم وملاءمة المواد والأساليب وإمكانية التشييد ، ويجب أن يصل التصميم والرسومات إلى مستوى التفصيل الضروري للسماح بالتنفيذ السليم بدون اجتهاد من المقاول .

ويجب في برنامج تأكيد الجودة إعطاء المسئولية بوضوح عن التصميم والمراجعة من قبل المالك ومن قبل المقاول ، والتحقق من جميع المراجعات والموافقات ، كما يجب أن تخضع التغييرات في التصميم - بما في ذلك التغييرات في الموقع - لنفس مقاييس الجودة مثل المستعملة في التصميم الأصلي .

ويجب على جهة التصميم إقامة خطوط اتصال مع جهات المشروع الأخرى بغرض :

- توضيح مقصد التصميم عند الضرورة .
- المراجعة والموافقة على تغييرات الموقع .
- ضبط الرسومات ، المواصفات ، التفاصيل ... إلخ .
- توزيع وثائق التصميم المعدلة .
- مراجعة مستندات التوريدات وأساليب تنفيذ المقاول لمطابقتها على اشتراطات

التصميم .

- الحسم فى البنود غير

المطابقة .

- واجبات أخرى كلما قضت الضرورة .

والسجلات المتعلقة بجهة التصميم والإشراف على التنفيذ هي :

- أسس التصميم التى تدعم التصميمات النهائية .

- وثائق التصميم النهائى (الحسابات ، الرسومات ، المواصفات) .

- كروكيات الموقع ورسومات التنفيذ .

- وثائق تغييرات الموقع .

- سجلات أداء المقاول .

- أساليب الجودة للمقاول والوثائق المؤيدة لها .

- التقارير الفنية المصورة .

- رسومات ما تم تنفيذه بالفعل .

ج - ضبط المواد :

د - الفحص :

هـ - الاختبار والتقييم :

ستعرض مفصلة فى الجزء الخاص بضبط الجودة .

و - التعرف على وإقرار الاشتراطات غير المستوفاة وتقويمها :

يجب بدون إبطاء التعرف على المواد أو الأعمال غير المطابقة لمستندات العقد وتقويمها لاتخاذ الخطوات لتصحيحها ، ويجب فى حالة حدوث تغييرات مؤثرة فى الأبعاد أن يظهر ذلك فى رسومات ما تم تنفيذه بالفعل (As - done - drawings) ، وقد يكون من الضرورى وجود تداخل بين المصمم وجهات المشروع الأخرى لتقرير إما الموافقة على حالة معينة أو إصلاحها أو إعادة عملها أو رفضها ، ويجب تسجيل الأعمال غير المطابقة وتعليمات تنفيذ الإصلاح أو إعادة العمل وتوقيعات الأفراد المشاركين فى اتخاذ القرار ،

ويجب حفظ تسجيلات الحالة وخطوات الإصلاح التي تمت فى ملفات المشروع
والبدائل المطروحة فى حالة الأعمال غير المطابقة لمستندات العطاء هى :

الإصلاح :

وهو إعادة البند لحالة مقبولة رغم أنه مازال غير مطابق للمواصفات الأصلية .

إعادة العمل :

هى إعادة البند إلى المتطلبات الأصلية .

القبول كما هو :

وهى حالة غير مطابقة ، ولكنها تفى بمتطلبات الأداء الهندسى بما فى ذلك الأمان
وإمكانية الاستعمال والتحمل مع الزمن .

الرفض :

بند غير مناسب للغرض المطلوب ، ولا يمكن اقتصاديا إصلاحه - يجب إزالة البند .

عدم المطابقة :

يجب إعادة فحص البنود التى تم إصلاحها أو إعادة عملها ، فقد لا تفى المتطلبات
الأصلية ، ولذا يجب توضيح مواصفات قبول الإصلاح للجهة متولية الإصلاح والجهة
المتولية إعادة الفحص .

ز - التسجيل والتوثيق :

يجب على كل جهة أن تسجل وتنشئ مستندات تثبت بها جودة المواد والمعدات
والأعمال التى تكون مسؤولة عنها فنيا ، ويجب توقيع هذه المستندات وتأريخها عن طريق
المسئول فى الجهة المصدرة لها ، ويعمل فهرس لهذه المستندات وأرشيف للمحافظة عليها
وسهولة استرجاعها .

والمالك أو المسئول عن تأكيد الجودة عليه تنفيذ برنامج للمراجعة المستمرة لهذا
التسجيل ، وأن يحتفظ بحق الحصول على كل المستندات التى يراها ضرورية ، ومن أمثلة
هذه المستندات :

مستندات التعاقد - أساليب / تعليمات الجودة - سجلات مؤهلات الأفراد -

الحسابات ورسومات التصميم - المواصفات - مستندات الشراء - تسجيل مواصفات المواد - كروكيات الموقع والرسومات التنفيذية - أوامر التعديل - التقارير الفنية وتقارير المتابعة والصور - تسجيل الفحص والاختبارات - تصميمات الخلطات الخرسانية - تقارير مدى المطابقة - سجل المقاول - رسومات ما تم تنفيذه .

٢ / ٣ - ضبط الجودة (Quality Control) :

وهي الوسائل التي تعطى طريقة لقياس وضبط الخواص الطبيعية للمواد والعمليات والخدمات على مقياس كمى سبق تحديده فى نظام تأكيد الجودة - وهي أداة لضبط الإنتاج ويتحقق هذا الضبط من خلال اتباع تفتيش ذى اتجاهين :

- تفتيش داخلى من خلال مراجعة داخلية ، يقوم بها المورد والمقاول تحت إشراف الاستشارى .

- تفتيش خارجى ، من خلال مراجعة خارجية يقوم بها المالك أو من يمثله أو الجهات الحكومية .

ضبط الجودة داخليا :

وتجرى بصفة مستمرة للتأكد من تحقيق الاشتراطات المطلوبة ، ويقوم بتنفيذه متخصصون فى ضبط الجودة ، سواء من المسؤولين بالمشروع أو بالاستعانة بأحد المتخصصين عند عدم توافر الخبرة الكافية .

ضبط الجودة خارجيا :

تم بواسطة أجهزة مراقبة خارجية لا تربطها - فى أية صورة تعاقدية أو تبعية - صلة بأجهزة المراقبة الداخلية لذات المشروع ، وتشمل مراجعة التصميم الإنشائى والفحوص الدورية والاختبارات الخاصة - عند الضرورة - والتفتيش الدورى والمفاجئ على التنفيذ .

١ / ٣ / ١ - التفتيش الفنى لأعمال الخرسانة المسلحة :

ويغطى البنود التالية :

- اختبار واعتماد المواد المكونة للخرسانة .

- موقع العمل وتشويناته ومعداته .

– الخلطات الخرسانية: تصميمها، ونسب مكوناتها، والتحكم فيها، واختبارها، واعتمادها .

– القرم والشدات بدءاً من منسوب التأسيس وحتى الانتهاء من إنشاء المبنى

– مراقبة وتسجيل العوامل الخارجية وظروف التشغيل .

– الجهاز الفنى اللازم لتشغيل الموقع .

ويتبع المفتش الفنى المالك أو الاستشارى أو أحد الأجهزة الحكومية المسؤولة عن ضبط الجودة ، ولا يتبع فى أى صورة من الصور المقاول أو المراقب الداخلى لضبط الجودة .

١ / ٣ / ٢ – مراحل ضبط الجودة :

١ / ٣ / ٢ / ١ – مرحلة مراجعة التصميم الإنشائى :

يلزم أن تتم مراجعة التصميم طبقاً لاشتراطات الكود المعمول به ، ويجب عدم بدء التنفيذ إلا بعد أن تتم مراجعة التصميم الإنشائى واعتماده من الجهة المخول لها المراجعة وفقاً للتشريعات واللوائح المعمول بها .

١ / ٣ / ٢ / ٢ – مرحلة التفتيش الفنى على المواد :

أ – التفتيش الابتدائى :

ويجرى بغرض التأكد من صلاحية إمكانات الاختبار لضبط الجودة الداخلى طبقاً للمتطلبات التى تحددها مواصفات المشروع والمواصفات القياسية .

ب – التفتيش الدورى :

ويجرى بغرض استيفاء شروط التوريد / الإنتاج واشتراطات ضبط الجودة الداخلى والخارجى كما وردت فى خطة تأكيد الجودة ، ولا يبدأ الاختبار الدورى إلا إذا كانت نتيجة التفتيش الابتدائى إيجابية ، ويتم بدون إشعار مسبق على فترات تتناسب مع طبيعة المشروع وللمفتش الخارجى أن يجرى الاختبار الدورى بالموقع أو فى أحد معامل الاختبار المتخصصة ، وأى نتيجة أو تعديلات يصل إليها يجب أن تجد استجابة فورية من مراقب الجودة الداخلى .

ج – الاختبارات الخاصة :

وتجرى فى أحد الحالات الآتية :

- عدم تمكن المادة من تحقيق الحدود الدنيا فى الاختبار الروتينى .
 - توقف إنتاج المادة أو العمل بالموقع لفترة تزيد عما يراه المراقب فترة مناسبة .
 - فى حالة طلب أحد الأطراف المتعاقدة .
- ويقوم المفتش الفنى بتحديد طبيعة وحدود الاختبارات الخاصة كل على حدة حسب الغرض المستهدف .

١ / ٣ / ٢ / ٣ - مراقبة مواد الخرسانة :

أ - اعتماد المصادر :

يعتمد مندوب المراقبة الخارجى أو المفتش الفنى المصادر المقترحة للمواد ، واستنادا إلى هذا الاعتماد يقوم المقاول المسئول بالتعاقد مع الجهات المنتجة أو الموردة ، ويكون الاعتماد مؤيدا بمجموعة من البيانات أهمها شهادات المنتج ونتائج اختبارات على المواد فى معامل محايدة وشروط التوريد .

ولا يعنى اعتماد المصادر - فى أية صورة - إعفاء المقاول من مسئولياته فى حالة توريد المواد بجودة أقل من الجودة التى تم على أساسها اعتماد المصادر ، وباعتباره المسئول الأول عن المواد الموردة للموقع من المصادر المعتمدة أو من مصادر أخرى قد يحتاج الأمر إلى اعتمادها .

ب - التفتيش خارج الموقع :

يلزم فى المشروعات الكبيرة التى يستغرق إنشاؤها مدة طويلة من الزمن ، أن تتم معاينة مواقع الإنتاج أو مصادر التوريد ، مع أخذ عينات بين وقت وآخر يتم اختبارها تحت مظلة التفتيش الفنى ، ولا يمنع هذا التفتيش الدورى على المواد عن وصولها لموقع الإنشاء ، ويلتزم المقاول بأن تكون تعاقداته مع الجهة المنتجة أو الجهة الموردة متضمنة ما يسمح بالتفتيش على المواد عند المنتج كما هو الحال عند ورودها لموقع العمل .

ج - القبول على أساس شهادة المنتج :

فى بعض الحالات تورد فيها المواد من مصادر إنتاج ذات تاريخ طويل فى مزاولة هذه الأعمال ، يمكن اعتماد بعض المواد على أساس شهادة المنتج ، والتى يجب أن تصاحبها جميع البيانات اللازمة لاعتماد القبول مثل نتائج اختبار ضبط الجودة فى موقع الإنتاج

ونتائج الاختبارات فى معامل خارجية محايدة مع بيانات عن تاريخ وحجم المبيعات وسجل استخدامها .

ولا يعنى القبول على أساس شهادة المنتج بأية حال ، الحد من الاختبارات الدورية أو الاختبارات الخاصة إذا ما رأى المراقب الخارجى أو المفتش الفنى ذلك فى أى من مراحل العمل .

د - رفض المواد :

فى حالة عدم مطابقة المادة لمتطلبات المواصفات القياسية ومواصفات المشروع ، يجب عدم استخدامها ، كما يجب التخلص منها من مواقع التشوينات أو على الأقل إبعادها تماما عن الرسائل المقبولة ، ويلزم أن يحصل المفتش الفنى من مهندس الموقع أو مراقب الجودة على مصادقته على العيب الذى أدى إلى عدم المطابقة .

ويمكن فى بعض الحالات ، حيثما توافرت أسباب كافية للتشكيك فى نتائج الاختبار ، الموافقة على إعادة الاختبار على المواد المرفوضة ، وتلزم فى مثل هذه الحالة إعادة على عيتين منفصلتين مأخوذتين فى نفس الوقت ، كما يلزم أن تنجح كل من العيتين على حدة ، ويجب أيضا أن يكون تقدير النهائى للقبول متضمنا النتيجة الأولى التى أشارت إلى عدم النجاح ونتيجتى إعادة .

١ / ٣ / ٢ / ٤ - تجهيز ومناولة المواد :

أ - أسس أخذ العينات :

يجب أن يتم أخذ العينات بحيث تكون ممثلة تماما للتشوينات التى تؤخذ منها العينة ، ويمكن أخذها بأى من الطرق التالية :

- الطريقة العشوائية :

وهى التى تؤخذ فيها العينة من مواقع عديدة متباعدة فى التشوينات ، وتبع فى هذه القواعد أو التوصيات التى تنص عليها المواصفات القياسية لكل مادة على حدة .

- طريقة الاحتمالات الرياضية :

وتعتمد هذه الطريقة على أسس التحليل الإحصائى الذى يربط بين عدد العينات الجزئية المأخوذة من التصناديق أو الأوعية أو المواقع أو العبوات ، التى تخلط جيدا مع بعضها

البعض لأخذ العينة النهائية المثلة للمادة .

ب - مصادر أخذ العينات :

تؤخذ العينة طبقا لغرض استخدامها وحسب ظروف العمل وظروف الموقع ، وطبقا لما يراه المسئول عن العينة من أى من :

- رسائل المواد عند وصولها الموقع .

- تشوينات المواد بالموقع .

- مخازن الموزعين .

- عند المنتج .

ج - مناولة العينات :

- يجب اتخاذ جميع الاحتياطات اللازمة التى تؤمن وصول العينة للمعمل دون :

حدوث أى تغيير فيها مثل : فقدان جزء منها - تعرضها لظروف جوية غير عادية -

كسر الأوعية الحاملة للعينات - فقدان الغطاء - اختلاط بعضها ببعض الآخر -

تسرب المواد السائلة ... إلخ .

- كما يجب أن تتم المناولة بعد أن تكون العينات قد ميزت بوضوح لا يدعو للإثارة

أى شك ، مع توقيع المسئول عن ضبط الجودة أو مهندس الموقع أو من يمثلهما ،

وكذلك توقيع المفتش الفنى .

- يجب أن تسجل العينات فى السجل الخاص بذلك ، والذى يجب أن يتضمن كل

من :

• المنتج أو موقع الإنشاء .

• مكان أخذ العينة .

• الرصيد المخزون حيثما كان ذلك مناسبا .

• عدد أو حجم العينة .

• العلاقة المميزة لتبع المادة (منتجة أو مستوردة) .

- * علامة أو رقم مميز بمعرفة أخذ العينة .
- * الخواص المطلوب إجراء اختبار عليها ومعمل الاختبار .
- * المكان والتاريخ .
- * توقعات .
- * أى بيانات أخرى يرى أخذ العينة إضافتها .

١ / ٣ / ٢ / ٥ - التفتيش الفنى على التنفيذ :

يستلزم تحقيق متطلبات التصميم أن يغطى التفتيش الفنى على التنفيذ ثلاثة بنود قبل وأثناء وبعد صب الخرسانة .

أ - التفتيش الفنى قبل صب الخرسانة :

يجب على المشرف على الموقع ألا يسمح بصب الخرسانة إلا بعد التأكد من استكمال اشتراطات مراحل الإعداد وتشمل :

- التسويات .
 - أعمال حفر الأساسات .
 - الفرص .
 - التسليح .
 - الوصلات .
 - الثوابت المدفونة .
 - التنظيف السابق للصب مباشرة .
 - أسلوب التحكم فى الخلطات ومحطات الخلط طبقا للمواد والخلطات المتفق عليها .
 - تحديد الاختبارات التى يمثلها التفتيش الفنى على المواد السابق الإشارة إليها .
- ب - التفتيش الفنى أثناء وبعد صب الخرسانة : ويشمل :

- سلامة وجودة نسب مكونات الخلطات الخرسانية .
- تجانس الخلطات الخرسانية .
- تفريغ وصب الخرسانة .
- دملك الخرسانة .
- تشطيب الخرسانة .
- التحكم فى البنود والظروف غير الشائعة .
- الصب فى الجو الحار ، الصب فى جو بارد ، الصب تحت الماء .
- إعداد عينات الاختبارات فى المعمل والمواقع .
- معالجة الخرسانة .
- مراقبة مع تسجيل مستمر لظروف التشغيل والظروف الجوية وظروف توقف العمل .

١ / ٣ / ٣ - وسائل ضبط الجودة :

وقد حدد الكود المصرى الجديد (٣) وسائل ضبط جودة الركام والأسمنت وماء الخلط والإضافات ومواد معالجة الخرسانة وأسياخ صلب التسليح ، كما حدد الاختبارات اللازمة لمراقبة وضبط جودة الخرسانة من اختبارات أولية عليها فى حالتها الطازجة والمتصلدة أو اختبارات عليها أثناء التنفيذ كما حدد أسس هذه الاختبارات ، وتعرض لمراقبة الخرسانة بعد الصب ، ولاختبارات المنشآت مثل اختبار القلب الخرساني ، واختبار تحميل العناصر والمنشآت الخرسانية والحالات التى تجرى فيها .

٢- وسائل منع حدوث شروخ بالخرسانة المسلحة

٢ / ١ - وسائل منع تشريح الخرسانة اللدنة :

٢ / ١ / ١ - منع شروخ انكماش الخرسانة اللدنة :

بما أن شروخ الانكماش تنشأ عند حدوث فروق في التغير الحجمي للخرسانة اللدنة ، فإن الوسائل الناجحة لمنع هذه الشروخ لابد وأن تقلل الفرق في التغير الحجمي بين الخرسانة السطحية وتلك الموجودة بداخل العضو ، ومن الناحية النظرية على الأقل فإنه يمكن زيادة معدل الإدماء حتى يزيد عن معدل البخر - انظر شكل (٣ / ٤) ، الباب الرابع - الذي يوضح العلاقة بين الإدماء والانكماش ، ولكن هذه وسيلة غير مأمونة العواقب لأن أي تغيير في نسب الخلط لزيادة معدل الإدماء يمكن أن يكون له نتائج جانبية عكسية بالنسبة لمقاومة الخرسانة وقدرتها على الانفعال ، كما يمكن أن يؤدي إلى زيادة احتمالات حدوث شروخ هبوط الخرسانة اللدنة وبالذات في الأعضاء العميقة .

ولذا فإن الوسيلة الوحيدة العملية لمنع شروخ الانكماش هو تقليل الفاقد من الماء نتيجة البخر ، وذلك عن طريق المعالجة المبكرة للخرسانة السطحية ، ومن الضروري الحد من معدل تبخر الماء من الخرسانة في الوقت الحرج الذي تكون فيه قدرة الخرسانة على الانفعال عند حدها الأدنى - وذلك من ٢ - ٦ ساعات بعد صبها ، ساعتان في الأجواء الحارة وست ساعات في الأجواء الباردة - وهذا يعني أن المعالجة يجب أن تبدأ في وقت مبكر جدا عما هو متعارف عليه الآن في مواقع التشييد .

وهناك عدة خطوات لمنع الفقد السريع لرطوبة الخرسانة السطحية نتيجة الجو الحار أو الرياح الجافة ، هذه الخطوات تشمل :

- ١ - استعمال رشاشات المياه الدوارة لزيادة تشبع الهواء الذي يعلو الخرسانة بالرطوبة .
- ٢ - تغطية سطح الخرسانة بأفرخ البلاستيك أو عدة طبقات من الخيش أو رشها بمواد سريعة التصلد تكون طبقة تمنع تبخر الماء قبل انتهاء فترة الإدماء .
- ٣ - استعمال كاسرات الرياح - وهي ألواح مائلة تعمل على خفض سرعة الهواء فوق

سطح الخرسانة .

٤ - استعمال المظلات التي تعمل على تخفيض درجة حرارة الأسطح المعرضة للشمس .

٥ - ترتيب صب البلاطات بعد تركيب الحوائط - إن أمكن - حيث تعمل الحوائط في هذه الحالة على تقليل سرعة الهواء وتوفير الظل للبلاطات .

٢ / ١ / ٢ - وسائل منع شروخ هبوط الخرسانة اللدنة :

من وسائل منع شروخ الهبوط تقليل إدماء وتضاغط الخرسانة ، وكذلك تقليل العوامل التي تقيد من حركة الخرسانة مع إعادة دمك الخرسانة ، وتقليل إدماء وتضاغط الخرسانة يكون باستعمال الخرسانة ذات الهواء المحبوس أو الإضافات التي تؤدي إلى تقليل الماء في الخلطة وزيادة الهواء بها ، وتقليل العوامل التي تقيد من حركة الخرسانة وخصوصا قرب السطح يشمل عدم وجود مسامير لربط الشدة قرب السطح ، كما يشمل زيادة الغطاء الخرساني فوق حديد التسليح العلوى .

أما إعادة دمك الخرسانة فمن الممكن أن نخلصنا تماما من شروخ الهبوط ، ورغم أنه من المتعارف عليه أن إعادة دمك الخرسانة ضار فإن ذلك غير صحيح ، فقد انتهت الأبحاث إلى أن إعادة دمك الخرسانة يحسن من خواصها (٤) - فمثلا مقاومة الضغط تزيد بنسبة ١٤ ٪ - ويجب ألا تسرع بإعادة دمك الخرسانة بعد الانتهاء من تسوية السطح ، حيث إن مرحلة ثانية من الإدماء قد تكون مستمرة مما يتسبب في تكوين شروخ الهبوط مرة ثانية ، وإنما الوقت المناسب لإعادة الدمك هو آخر وقت يمكن فيه للهزاز أن يدخل في الخرسانة لإعادة دمكها ثم يخرج بدون ترك فجوة واضحة بها .

ومن الوسائل المفيدة لمنع شروخ الهبوط ترك فترة زمنية كافية بين صب الأعمدة وصب البلاطات والكمرات ، واستعمال أقل كمية مياه كافية للوصول إلى درجة التشغيل المطلوبة .

٢ / ١ / ٣ - وسائل منع تحرك الشدة :

وسائل منع تحرك الشدة تشمل التصميم السليم والتنفيذ السليم ، ومن أهم العناصر للتصميم السليم للشدة التدعيم المائل على شكل حرف (X) والربط الأفقى للقوائم الرأسية ، ودور التدعيم بالشكالات المائلة (bracing - X) هو مقاومة الأحمال الأفقية والعرضية على القوائم الأفقية وعلى الشدة ككل ، أما دور الربط الأفقى (horizontal lacing) •

فهو مقاومة الأحمال الرأسية على كل دعامة على حدة .

ويجب تدعيم القوائم الرأسية على المحيط الخارجى للمبنى كل صف أو لكل ثانى صف على الأكثر . ويمكن أن يكون هذا التدعيم عموديا على كل ناحية من نواحي المبنى أو بطريقة قطرية (diagonally) ، ويجب على الأقل أن يربط هذا التدعيم بين أربعة قوائم فى كل صف من القوائم ، وأن يكون هناك مجموعة واحدة أو أكثر من الدعامات على شكل تحرف (X) فى كل صف من القوائم حسب شكل الشدة .

أما الربط الأفقى للقوائم فله وظيفة مختلفة ، إذ أنه يقلل طول الانبعاج للقائم الرأسى مما يجعله أكثر قدرة على تحمل الأحمال الحية والميتة التى تنتج أثناء صب الخرسانة ، وكلما زاد طول القائم كلما قل الحمل المسموح له بحمله ، ويجب ربط القوائم أفقيا فى اتجاهين متعامدين ولا يكفى ربطها فى اتجاه واحد حيث إن الانبعاج يحدث فى أضعف المستويين العرضيين .

ويجب التنبيه على أن التدعيم الأفقى لا يغنى عن الربط والعكس ؛ لأن لكل منهما وظيفة مختلفة عن الآخر ، كما يجب التنبيه على أن ربط قائمين رأسيين أو أكثر ببعضهما - فى الارتفاعات الكبيرة - يؤدى إلى شدة غير متزنة ، وخاصة إذا كان الربط الأفقى لها غير كاف ، ويجب تجنب هذا ما أمكن .

ويمكن تلخيص الأسباب الأخرى لتحرك الشدة والتى يجب منعها فيما يلى :

- ١ - عدم ربط القوائم الموصلة من الجوانب الأربع وعدم وجود ارتكاز كامل من إحداها على الأخرى .
- ٢ - قدرة ركائز القوائم على الأرض غير كافية لتحمل الأحمال الرأسية أو غير مثبتة أفقيا أو غير مستوية .
- ٣ - القوائم غير مربوطة بالأعضاء الأفقية للشدة مما يجعلها غير قادرة على مقاومة الاهتزازات أو الحركة الرأسية أو انتقال الأحمال أثناء الصب .
- ٤ - المسافات غير المتساوية بين الأعضاء الأفقية للشدة تؤدى إلى أحمال لا مركزية على القوائم .
- ٥ - حدوث انحناء أو انبعاج لبعض القوائم أو عدم وجودها فى أماكنها الصحيحة .

٦ - عدم ربط إطارات (Frames) الشدة المرتفعة ربطا جيدا لتكون وحدة متماسكة جاسئة يمكنها تحمل أحمال السطح أثناء صب الخرسانة ، خاصة عند استعمال مضخات الخرسانة .

٢ / ٢ - وسائل منع تشرخ الخرسانة المتصلدة :

٢ / ٢ / ١ - منع شروخ انكماش الخرسانة عند جفافها :

الانكماش خاصية من خصائص مونة الأسمنت ، وأحد أغراض استعمال الركام الكبير فى الخرسانة هو تقليل التغيرات الحجمية لمونة الأسمنت ، فيمكن منع شروخ الانكماش عند جفاف الخرسانة باستعمال أكبر كمية ممكنة من الركام فى الخلطة وأقل كمية ممكنة من الماء ، ويمكن تقليل كمية الماء فى الخلطة عن طريق ما يلى :

أ - استعمال ركام يكون المقاس الاعتبارى الأكبر له ما يمكن .

ب - استعمال خرسانة لها درجة تشغيل أقل ما يمكن مع عدم الإخلال بسهولة الصب وإتمام الدمك .

ج - استعمال الإضافات المناسبة التى تعمل على تقليل كمية الماء فى الخلطة ، ولكن مع الاحتياطات من التأثير الجانبى لها - وخاصة الملدنات الفائقة Superplasticizers ، فمثلا فى الأجواء الحارة يقترح البعض استعمال أسمنتات سريعة التصلد مع ملدنات فائقة للحصول على مقاومة شد مبكرة وتقليل كمية الماء فى الخلطة للتخلص من شروخ الانكماش نتيجة الجفاف ولكن إعطاء جرعة أكبر من اللازم من هذه الملدنات قد تأتى بأثر عكسى ، فقد أثبتت الأبحاث^(٥) أن كل الملدنات الفائقة تؤدي إلى زيادة الانكماش نتيجة الجفاف. إذا استعملت بجرعة عالية ، وبعضها - مثل ميلامين سلفونات الصوديوم ولنجر سلفونات الصوديوم - يؤدي إلى ذلك حتى لو كانت الجرعة طبيعية .

وبالإضافة إلى ما تقدم ذكره يمكن تقليل شروخ الانكماش عند جفاف الخرسانة عن طريق :

أ - عمل معالجة مناسبة للأسطح المعرضة للجو وخاصة المساحات الكبيرة ، وذلك بعد صب الخرسانة وتسوية سطحها مباشرة .

ب - الحد من العوامل الخارجية المقيدة للحركة بقدر الإمكان حتى تنكمش الخرسانة بدون مشاكل ، وذلك عن طريق عمل وصلات للحركة كلما أمكن ذلك .

ج - إضافة حديد كاف للتحكم فى الشروخ ، واتباع متطلبات حد التشرخ فى المواصفات يفى بهذا الغرض .

وهناك طريقة لصب الحوائط تساعد على تقليل شروخ هبوط الخرسانة اللدنة كما تساعد على الحد من شروخ انكماش الجفاف فى نفس الوقت ، وهى أن يتم تقليل كمية الماء فى خلطة الحائط مع تقدم الصب من أسفل إلى أعلى ، واستعمال هذه الطريقة يؤدى إلى أن يعمل ماء الإدماء للأجزاء السفلى من الحائط على تعديل محتوى الماء فى الأجزاء العليا مما يقلل من الشروخ ، ولكن لكى تنجح هذه الطريقة لابد من التحكم الدقيق فى نسبة الخلط ، وكذلك الرقابة اللصيقة على دمك الخرسانة .

٢ / ٢ / ٢ - وسائل منع الشروخ السرطانية (Crazing cracks) :

بالنسبة للأسطح التى يتم تسويتها بالقدة يراعى ما يلى :

أ - الخلطة : تجنب الخلطات ذات المحتوى الزائد من الماء أو الأسمنت ؛ لأن المحتوى الزائد من أيهما يزيد ظاهرة الإدماء مما يزيد احتمال حدوث الشروخ السرطانية - غير المنتظمة الشكل .

ب - الدمك : يجب أن يكون مناسباً ، أما إذا زاد بطريقة مبالغ فيها فإن ذلك سيؤدى إلى زيادة محتوى الأسمنت والماء فى الطبقة السطحية مما يؤدى إلى تشربحها .

ج - نهو السطح : تجنب النهو المبالغ فيه وتجنب أى طريقة تؤدى إلى هبوط الركाम ، وتكون طبقة سطحية غنية بالأسمنت والرمل فقط - أى تجنب الدق بالقدة بطريقة مبالغ فيها - ويستحسن تأجيل التسوية باستعمال القدة الصلب حتى اختفاء اللمعان من سطح البلاطة - تبيخر الماء الزائد .

د - المعالجة : يجب معالجة الخرسانة بطريقة مناسبة ومستمرة لعدة أيام بعد انتهاء عملية نهو السطح مباشرة ، ويجب ألا يعرض السطح لدورات من الرطوبة والجفاف بسبب نقص المعالجة تحت أى ظرف من الظروف - أى يكون السطح دائماً البلل ولا يبلل صباحاً ومساءً فقط .

وبالنسبة لأسطح الخرسانة الظاهرة (استعمال شدات معدنية أو خشب كونتر)
يراعى ما يلى :

- أ - الخلطة : تجنب المحتوى الزائد من الماء أو الأسمنت .
- ب - الشدة : تجنب استخدام شدة يمنع سطحها نفاذ الماء تماما .
- ج - المعالجة : إذا تم فك الشدة بعد أقل من ثلاثة أيام من تاريخ الصب فيجب أن تتم
« المعالجة بمجرد الفك ، ويكون السطح مبللا بصفة مستمرة - تجنب دورات البلل
والجفاف .
- د - مسح الأسطح : إذا تم مس الأسطح بالمونة لمعالجة أى فجوات أو أماكن مسامير
الشدة فيجب أن يقتصر المس على المناطق المعيبة ، أما إذا شمل المس جانب الكمره
كله فمن المحتمل أن تحدث شروخ سرطانية على الجانب المسوس .
- هـ - إضافة مادة طاردة للماء : إذا تمت معالجة الخرسانة باستخدام السيليكون كمادة
طاردة للماء ، فإن التحركات نتيجة الرطوبة المسببة للشروخ السرطانية ستقل
بدرجة كبيرة ، وطالما ظلت الإضافة (السيليكون) فعالة كمادة طاردة للماء كلما
قل احتمال حدوث هذه الشروخ .

٢ / ٢ / ٣ - منع شروخ هجوم المواد الكيميائية على الخرسانة :

ومنع هذه الشروخ يكون بمنع تعريض الأسطح الخرسانية للمواد الكيميائية الضارة
مثل الأحماض ومركبات الأمونيوم (بعضها) والكبريتات الأملاح ، وكذلك يكون بمنع
تكون الشروخ السطحية أو الفجوات عند احتمال تعرض الأسطح الخرسانية لمثل هذا
الهجوم ، فإذا كان دمك الخرسانة مبالغاً فيه (Over - vibrated) أو إذا تمت تسوية
السطح مبكرة جداً أو لفترة أطول من اللازم أو إذا تعرض السطح للانكماش اللدن نتيجة
ظروف جوية أو إذا كان ماء الإدماء زائداً عن الحد المقبول ، فإن سطح الخرسانة سيكون
من طبقة ضعيفة من المونة ويحتل احتوائه على شروخ دقيقة (micro - cracks) أو
قنوات سببها ماء الإدماء ، وهذه الشروخ والقنوات تنقل المواد الكيميائية الضارة من السطح
إلى داخل الخرسانة مما يؤدي إلى الشروخ نتيجة هجوم المواد الكيميائية .

وتشمل وسائل حماية الأسطح التى يمكن أن تعرض لهجوم المواد الكيميائية استعمال

خرسانة كثيفة (Dense concrete) وزيادة الغطاء الخرساني وعمل خرسانة ظاهرة (Fair Face) والدهان بالطبقات العازلة الجيدة دهانا سليما لا يترك فجوات ، كما تشمل وسائل حماية الخرسانة من هجوم الكبريتات بالذات استعمال أسمنت مقاوم للكبريتات .

أما الشروخ الناتجة عن استخدام كلوريد الكالسيوم كإضافة الخرسانة فمنعها يكون بمتاع استخدام هذه المادة كإضافة للخرسانة منعاً باتاً ، وعندما يثبت وجود الكلوريدات بنسب عالية في الخرسانة فيجب معرفة أن عملية صدأ الحديد لا يمكن وقفها ببساطة عن طريق محاصرتها كيميائياً - عن طريق عزل السطح من الرطوبة مثلاً - لأن هجوم الكلوريدات في هذه الحالة يمكنه أن يستمر حتى في الظروف الجافة - ولكن ببطء - وعليه فيجب في هذه الحالة إزالة كل الخرسانة المحيطة بالشروخ والمحيط بالحديد الذي بدأ يصدأ ثم ينظف الحديد جيداً بإزالة الطبقة الصدأ تماماً ، ويمكن بعد ذلك معالجة الخرسانة لحمايتها من التعرض لصدأ الحديد مرة ثانية .

٢ / ٢ / ٤ - وسائل منع شروخ تفاعل الركام مع القلويات :

- أ - حسن اختيار نوع الركام ، وذلك بتجنب استعمال الركام المحتوى على سيليكات نشطة وكذلك الركام المحتوى على كربونات .
- ب - استعمال أصغر مقاس اعتبارى ممكن للركام .
- ج - استعمال أسمنتات ذات نسبة قلويات منخفضة .

وبينما يمنع حسن اختيار نوع الركام المشكلة من الحدوث أصلاً ، فالوسيلتان الثانية والثالثة تعملان على تقليل نسبة القلويات في الخلطة لتساوى نسبة السيليكات النشطة ، مما يؤدي إلى تكون سيليكات الكالسيوم القلوية وغير القابلة للتمدد ، ومن ثم فلا ينشأ عنها مشاكل .

٢ / ٢ / ٥ - وسائل منع شروخ صدأ الحديد :

تتركز أسباب معظم المشاكل المتعلقة بصدأ الحديد في أحد أمور ثلاثة : نقص الغطاء الخرساني ، أو خرسانة ذات نفاذية عالية ، أو بها محتوى كبير من الكلوريدات ، ولذلك فإن أحسن حماية للمنشآت الخرسانية ضد الصدأ - في الظروف العادية - هو استعمال

خرسانة جيدة غير مسامية ، والتأكد من أن الغطاء الخرساني ومحتوى الكلوريدات متمشى مع المواصفات ، أما زيادة سمك الغطاء الخرساني مع استعمال خرسانة رديئة فلن يمنع الصدأ وإن كان سيؤخر حدوثه .

الغطاء الخرساني :

فى الكود المصرى الجديد (٣) وأغلب الكودات الحديثة يتناسب مع جودة الخرسانة ، كما يتناسب مع الظروف المحيطة بالعضو الخرساني ، كما يظهر فى جدول رقم (٧ / ٧) ، ومن الأسس الهامة لتحديد سمك هذا الغطاء فى المواصفات المختلفة منع التحول الكربونى (Carbonation) للخرسانة السطحية التى تغطى الحديد من الوصول إلى الأسياخ أثناء العمر الافتراضى للمنشأ الخرساني - انظر التحول الكربونى فى فصل (٦ / ٢ / ٢) من الباب الرابع .

وكما زاد الغطاء الخرساني كلما قلت احتمالات حدوث الصدأ ، ولكن يراعى عند زيادة الغطاء الخرساني عن الحدود المعطاة فى المواصفات أنه قد يلزم إضافة حديد عرضى ذى أقطار صغيرة - مع مراعاة الغطاء الخرساني فوق هذا الحديد - لمنع سقوط الغطاء الخرساني ولتقليل اتساع الشروخ السطحية - حيث يتناسب اتساع الشروخ مع سمك الغطاء الخرساني .

نفاذية الخرسانة :

تعتمد على محتوى الأسمنت بالخلطة وعلى نسبة الماء إلى الأسمنت بها ، كما تعتمد على طريقة نهو سطح الخرسانة ، وقد أعطى الكود المصرى الجديد حدودا دنيا لمحتوى الأسمنت وحدودا قصوى لنسبة الماء إلى الأسمنت للوصول إلى خرسانة كثيفة (Dense concrete) كما يظهر فى جدول (٨ / ٧) ، أما نهو السطح فكلما كان السطح أملسا (Fair Face) كلما قلت نفاذية الخرسانة .

الكلوريدات :

يجب التحكم فى كميتها فى الخلطة الخرسانية وذلك بمراعاة الحدود العليا الموجودة بالمواصفات ، وقد نص الكود المصرى الجديد على أنه للوقاية من الصدأ فيجب ألا يزيد التركيز الكلى لأيونات الكلوريدات الذائبة فى الخرسانة المتصلدة - والناتج من الماء والركام والأسمنت والإضافة - عند عمر ٢٨ يوما عن الحدود المعطاة فى جدول (٩ / ٧) .

وتحتوى المواصفات البريطانية الجديدة (٦) على الحدود العليا المسموح بها لدرجة تركيز أيونات الكلوريدات (بالوزن) فى الخرسانة كنسبة من وزن الأسمنت كما يلى :

— ٠,٤ ٪ (٤ فى الألف) من وزن الأسمنت العادى وسريع التصلد .

سمك الغطاء الخرساني * (سم)				تعرض سطح الشد	إجهاد الضغط للخرسانة
جميع العناصر عدا البلاطات		الحوائط والبلاطات المصمتة			
أكبر من ٢٥٠ كجم / سم ٢	٢٥٠ أو أقل	أكبر من ٢٥٠	٢٥٠ أو أقل		
١	١,٥	١,٥	٢	الأول . سطح الشد محمي	
١,٥	٢	٢	٢,٥	الثاني : سطح الشد غير محمي	
٢	٢,٥	٢,٥	٣	الثالث : سطح الشد معرض لعوامل ضارة	
٣	٣,٥	٣,٥	٤	الرابع : معرض لعوامل تسبب صدأ الصلب	

* يجب ألا يقل سمك الغطاء الخرساني بأى حال عن قطر أكبر سيخ مستعمل فى التسليح .

جدول (٧ / ٧) الحد الأدنى لسمك الغطاء الخرساني بالكود المصرى الجديد (٣)

الحد الأقصى لنسبة الماء : الأسمنت	المقاس الاعتبارى الأكبر للركام (مم)				الظروف التى يتعرض لها المبنى بعد الإنشاء
	١٥	٢٠	٣٠	٤٠	
٠,٦٠	٣٥٠	٣٥٠	٣٥٠	٣٠٠	عادية : الخرسانة محمية تماما
٠,٥	٤٠٠	٣٥٠	٣٥٠	٣٠٠	متوسطة : خرسانة معرضة للرطوبة وغير معرضة لظروف ضارة : معرضة لظروف ضارة، ولكنها مغمورة دائما تحت الماء .
٠,٤٠ محتوى ٤٠٠ كجم ٠,٤٥ محتوى ٣٥٠ كجم	٤٥٠	٤٠٠	٣٥٠	٣٥٠	قاسية : خرسانة معرضة لظروف قاسية أو ماء البحر أو الغازات

جدول (٧ / ٨) - الحد الأدنى لمحتوى الأسمنت فى الخلطة لتأمين التحميل مع الزمن (٣)

– ٠,٢ ٪ (٢ فى الألف) من وزن الأسمنت المقاوم للكبريتات .

الظروف حول الخرسانة	الحد الأقصى لأيونات الذائبة فى الماء فى الخرسانة – ٪ من وزن الأسمنت
الخرسانة المسلحة معرضة للكلوريدات .	٠,١٥
الخرسانة المسلحة جافة ومحمية تماما من الرطوبة فى ظروف الاستخدام .	١,٠
العناصر الإنشائية الأخرى .	٠,٣

جدول (٧ / ٩) المحتوى الأقصى لأيونات الكلوريدات الذائبة اللازمة للوقاية
من الصدأ (٣)

– ٠,١ ٪ (واحد فى الألف) من وزن الأسمنت فى الخرسانة سابقة الإجهاد والخرسانة
التي ستعالج بالتسخين أو البخار وتحتوى على أجزاء معدنية .

– ٠,١ ٪ (واحد فى الألف) من وزن الأسمنت فى الخرسانة سابقة الإجهاد والخرسانة
التي ستعالج بالتسخين أو البخار وتحتوى على أجزاء معدنية .

كما نصت على أنه لا يجوز استعمال إضافات كلوريد الكالسيوم أو أية إضافات
محتوية على كلوريدات فى الخرسانة المسلحة والخرسانة سابقة الإجهاد والخرسانة التي بها
أجزاء معدنية .

أما المواصفات الأمريكية لسنة ١٩٩٠ (٧) فقد حددت الحدود الآتية لدرجة تركيز
أيونات الكلوريدات كنسبة من وزن الأسمنت :

– فى الخرسانة سابقة الإجهاد – ٠,٠٦ ٪ (٠,٦ فى الألف) .

– فى الخرسانة المسلحة فى جو رطب ومعرضة للكلوريدات – ٠,١٥ ٪ (واحد ونصف
فى الألف) .

– فى الخرسانة المسلحة فى جو رطب ولكنها غير معرضة للكلوريدات ٠,٣٠ ٪ (٣ فى
الألف) .

ومن الملاحظ أن الحدود العليا فى المواصفات البريطانية والأمريكية الحديثة منخفضة عن

المواصفات السابقة ، وذلك لأنه فى ضوء كل من التجارب والخبرة العملية فى الثلاثين سنة الأخيرة فقد وجد أنه من الضرورى تخفيض القيم المسموح بها لتركيز الكلوريدات تخفيضاً كبيراً .

أما بالنسبة للأعضاء الخرسانية المعرضة لكلوريدات خارجية - ماء البحر أو المياه الجوفية - فيجب حماية هذه الأعضاء عن طريق عزلها عزلاً جيداً ؛ لأن تأثير الكلوريدات التى تتغلغل فى الخرسانة من الخارج قد يكون أفدح على صلب التسليح من تأثير الكلوريدات الموجودة أصلاً فى الخلطة ، كما سبق توضيحه فى فصل (٢ / ٢ / ٦) من الباب الرابع .

أما فى الظروف الجوية القاسية فبالإضافة إلى الاحتياطات الموجودة فى المواصفات من تقليل لإجهادات الحديد المسموح بها عند تصميم القطاعات وتقليل قطر الأسياخ المستعملة وزيادة الغطاء الخرساني ، فيمكن أيضاً عمل إجراءات حماية إضافية مثل :

أ - دهان الحديد بطبقة حامية من الصدأ .

ب - استعمال إضافات تزيد من سدوذية الخرسانة لنفاذ الماء .

ج - استعمال الإضافات التى تقلل من الصدأ .

د - استعمال طرق الحماية الكهربية لحديد التسليح - انظر قسم (٤ / ٦ / ٩) من الباب الثامن - وإن كانت هذه الطرق مكلفة جداً .

وعموماً فاتباع أى إجراء يمنع وصول الأكسجين والرطوبة إلى صلب التسليح أو يعكس سيل الإلكترونات عند القطب الموجب ، يعتبر إجراء فعالاً فى منع شروخ صدأ الحديد .

٢ / ٢ / ٦ - وسائل منع شروخ انخفاض درجة الحرارة :

فى الأجواء شديدة البرودة - حيث تنخفض درجة الحرارة إلى ما تحت الصفر - فإن الخرسانة الجافة - ذات نسبة تشبع أقل من ٨٠ ٪ - لن تتعرض إلى حد كبير للتلف نتيجة الصقيع ، وذلك لأنها تحتوى على بعض الفراغات غير المملوءة بالماء مما يجعلها توفر الفراغ المطلوب داخل جسم الخرسانة عند تجمد الماء الحر لمنع حدوث تلف ، أما الخرسانة التى تتعرض لدرجات حرارة ما دون التجمد وهى مشبعة بالماء - درجة تشبع قريبة من ١٠٠ ٪ - فيمكن منع تدهورها أثناء دورات التجمد والذوبان باستعمال الخرسانة ذات

الهواء المحبوس ، وعندما يتم عمل الخرسانة ذات الهواء المحبوس بطريقة صحيحة فإنها لا تتمدد عند تجمدها وإنما تنقلص - كما هو مبين في شكل (٤ / ٤٣) من الباب الرابع - فعندئذ لا يحدث لها تشريح ، ويجب عدم تعريض الخرسانة وهي لا زالت في عمر مبكر للصقيع لأنها يجب أن تصل إلى حد أدنى من المقاومة التي تمكنها من التغلب على التلف الذي يسببه الصقيع ، فالخرسانة الطازجة يحدث لها تصدع عند تجمدها حتى وإن كانت تحتوى على هواء محبوس ، ويجب حمايتها في عمرها المبكر إلى أن تتصلد وتصل إلى مقاومة كافية .

وأما شروخ التقلص الحرارى المبكر فهي تظهر في الأجواء الباردة عندما يزيد الفارق بين درجة حرارة الإماهة ودرجة حرارة الجو المحيط عن ٢٠ م° ، والاحتياطات التي يجب أن تأخذ في الاعتبار في الأجواء الباردة - وفي شتاء الأجواء المعتدلة - لمنع هذه الشروخ ليست بسيطة ؛ لأن الأمر يتطلب تعاوناً وثيقاً بين المصمم والمنفذ ، بحيث يأخذ كل منهما في اعتباره العوامل التي تزيد من حدة المشكلة وهي :

أ - بالنسبة لتصميم والمواصفات :

- القيد على الحركة (العمق الكلى للصبية الواحدة والمسافة بين وصلات الحركة) .
- حديد التوزيع (ويوضع للحد من هذه الشروخ ، ويحدد أخذاً في الاعتبار كل العوامل الأخرى وخاصة سمك العضو والمسافة بين الوصلات) .
- تولد الحرارة (سمك العضو ونوع الأسمنت وكميته في الخلطة) .
- نوع الركام .

ب - بالنسبة للتنفيذ :

- القيد على الحركة (تتابع وتوقيت الصبات وعمل وصلات حركة إضافية) .
- تولد الحرارة (اختيار نوع مواد الخرسانة ونوع الشدة) .
- وقت وحجم التعرض للبرد (زمن فك الشدة ونوع المعالجة والعزل) .

٢ / ٢ / ٧ - منع الشروخ نتيجة قصور التصميم :

ومنع هذه الشروخ يكون بعمل تصميم وتفاصيل جيدة تأخذ في اعتبارها :

أ - تركيز الإجهادات حول أركان الفتحات .

ب - حالة حد التشرخ وكل متطلباتها في الكود لكل عضو على حدة .

ج - تأثير القيد على الحركة أثناء الصب أو بعد الفك على حدوث الشروخ .

د - العوامل الجوية المحيطة بالمبنى .

هـ - دراسة التربة دراسة وافية لتجنب حدوث هبوط في الأساسات .

والتصميم الجيد هو الذى :

أ - يوفر تفاصيل التسليح حول الفتحات .

ب - يأخذ متطلبات حد التشرخ لكل عضو من الأعضاء الخرسانية فى اعتباره ،
ويوفر تفاصيل التسليح اللازمة للحد من الشروخ وكذلك تفاصيل الغطاء
الخرسانى وأكبر قطر لحديد التسليح ... إلخ .

ج - يدرس القيد على الحركة وتأثيره على الشروخ وهذه الحركة قد تكون بسبب
الزحف أو الانكماش أو فروق الحرارة - تقلصاً أو تمدداً - والقيد على الحركة
ليس فقط تثبيت العضو الخرسانى عند نهايته وإنما يحدث قيد على الحركة عند
تغير القطاع تغيراً مفاجئاً ، وفى الأعضاء السميكة أو عند صب البلاطات
والحوائط المستمرة على عدة مرات ، والتصميم الجيد هو الذى يضع تفاصيل
وصلات التمدد والتقلص كما يضع اشتراطات صب الحوائط والبلاطات
المستمرة ليقفل من تأثير القيد على الحركة ، كما يضع اشتراطات صب
الأعضاء العميقة والخرسانة الكتلية ، بحيث لا تحدث بها شروخ أثناء التنفيذ .

ودراسة العوامل الجوية المحيطة بالمبنى أساسية فى التصميم الجيد وتشمل هذه
الدراسة :

أ - دراسة تأثير حركة الرياح على المبنى .

ب - دراسة تأثير الزلازل - إذا كان من المحتمل حدوثها فى العمر الافتراضى
للمبنى .

ج - دراسة تأثير الرطوبة أو الكيماويات ، سواء على الجزء المدفون تحت الأرض أو
على الأجزاء الظاهرة .

د - دراسة تأثير الحرارة - أثناء اليوم الواحد وعند الانفصال المختلفة والفروق بين درجات الحرارة خارج المبنى وداخله - إذا كان مكيفاً (فى المناطق الحارة) أو به تدفئة (المناطق الباردة) .

والتصميم الجيد هو الذى يصف الاحتياطات الواجب أخذها عند تنفيذ الخرسانات المعرضة للرطوبة والمطر المستمر أو المعرضة لماء البحر وهجوم الكبريتات ، وهو الذى يأخذ فى الحسبان الإجهادات المتولدة عن فروق الحرارة على كل عضو على حدة وعلى المبنى ككل ، التى قد تعمل على زيادة هذه الإجهادات فى بعض الأحوال عن الإجهادات نتيجة الأحمال الرأسية ، ويصمم الأعضاء الخرسانية على تحمل تلك الإجهادات .

كما أن دراسة التربة دراسة وافية شرط فى التصميم الجيد ، ولا بد من تحديد فواصل الهبوط وفروق الهبوط المتوقعة على اللوحات ، ولا بد أن تكون التفاصيل الإنشائية من الوضوح والدقة والشمول بحيث لا تترك مجالاً لاجتهاد المهندس المنفذ ، وإنما تخاطب كل العوامل السابق ذكرها وتضع لكل حالة ما يناسبها .

وقد نص الكود المصرى الجديد لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية (٣) على أن الرسومات التنفيذية يجب أن تشمل :

أ - بيانات عامة :

١ - الأحمال : الحية والإضافية المصمم عليها كل جزء من المبنى والتأثيرات الديناميكية - إن وجدت - وكذلك أحمال الأرضيات والشدات والأوناش .

٢ - خواص المواد : إجهادات الضغط ونسب الخلط ونوعية الأسمنت و صلب التسليح .

ب - بيانات تفصيلية :

١ - مساقط أفقية وقطاعات كافية لبيان الأبعاد الخرسانية وأماكن وتفاصيل الفتحات والأجزاء المدفونة اللازمة لأعمال الصرف أو التكيف أو تثبيت الماكينات ... إلخ .

٢ - يوضح على رسومات الأساسات منسوب التأسيس والجهد على الأرض المسموح به وعدد الأدوار التى صمم عليها المبنى وأى اشتراطات خاصة بدمك التربة أو غمرها بالماء ... إلخ .

٣ - بيان أماكن وتفاصيل فواصل التمدد والانكماش ومقدار التحديد للبلاطات

والكمرات والكوابيل فى المنشآت الخاصة ، وفواصل الصب إذا دعت الحاجة .

٤ - مقدار الغطاء الخرسانى لحديد التسليح فى لعناصر المختلفة للمبنى .

٢ / ٢ / ٨ - منع الشروخ نتيجة فروق الهبوط :

للتقليل من الشروخ الناشئة عن هبوط الأساسات يمكن اتباع الاحتياطات الآتية :

أ - أن يكون تصميم الأساسات المبنى على تقرير لأبحاث التربة لا يبين فقط التغير فى خواص التربة مع العمق ، وإنما يبين أيضا تغيرها فى الاتجاه العرضى - فى المواقع الكبيرة - مما يمكن معه رسم خريطة معقولة للتغير فى خواص التربة بالموقع .

ب - عند تصميم الميدات يمكن أخذ القيمة المسموح بها فى زاوية الهبوط $\alpha = \frac{1}{100}$ ، وهذا أكثر واقعية من تصميم الأساسات على فرق هبوط بوصة أو نصف بوصة ، كما تذكر بعض تقارير الجسات .

ج - عندما يكون هبوط الأساسات محتملا فى الأراضى الرخوة - كمدينة بورسعيد بمصر مثلا - فيمكن عمل تفاصيل إنشائية لتقاطع الكمرات والأعمدة ، بحيث تعمل كإطارات مستوية (Frames) ، وذلك بمد الحديد مسافة كافية لنقل العزوم ، وهذا الحل له ميزتان : الأولى زيادة جساءة المبنى ككل مما يعمل على تقليل فروق الهبوط وجعل الهبوط أكثر انتظاما ، والثانية : أن هذه التقاطعات ستصبح أكثر قدرة على مقاومة العزوم المتولدة عن فروق الهبوط .

د - يمكن الاستفادة من مشاركة الحوائط الطوب فى المبانى الهيكلية فى زيادة جساءة المبنى ومقاومة فروق الهبوط ، ولكن ذلك يقتضى ربط هذه الحوائط بالأعضاء الخرسانية ربطا جيدا وبخاصة عند الأركان .

٢ / ٢ / ٩ - وسائل منع حدوث العيوب الناتجة من سوء التنفيذ :

وهى تنقسم إلى شقين :

١ - اتباع أساليب التنفيذ الصحيحة .

٢ - وجود نظام إشراف فعال على التنفيذ ومراقبة جودته .

٢ / ٢ / ٩ / ١ - اتباع أساليب التنفيذ الصحيحة :

ويحددها الكود المصرى الجديد ^(٣) فيما يلى :

أ - استلام وإعداد وتجهيز الموقع :

١ - تحديد موقع المشروع على رسم عام للموقع مبينا عليه مواقع المنشآت الأخرى وعلاقته بها .

٢ - تطهيره من العوائق وإزالة المخلفات التى تعترض التنفيذ أو تؤثر عليه بالضرر - كالأشجار القريبة .

٣ - عمل ميزانية شبكية للموقع وتحديد روبر ثابت ، مع حفظه سليما طوال مدة التنفيذ .

٤ - عمل احتياطات الأمن ومراعاة تعليمات الأمن الصناعى .

٥ - تخطيط الموقع وتمهيد الطرق التى تسهل وصول المهمات والمواد سليمة ، وإمداده بالمياه والكهرباء وورش الصيانة اللازمة .

٦ - عمل جسات للتأكد من عمق التأسيس وجهد التربة المذكورين بالرسومات الإنشائية ، وللتعرف على عمق المياه الجوفية لاتخاذ احتياطات نزع المياه إذا لزم الأمر .

ب - تشوين المواد :

١ - الأسمنت : يشون بطريقة تحميه حماية فعالة من المطر ومن رطوبة الهواء والأرض .

٢ - الركام : يشون الركام الكبير والصغير كل على حدة وبكيفية تجنبه التلوث .

ج - قياس المواد :

١ - الأسمنت : لا يسمح بمعايرته بالحجم ، ويفضل استعمال عدد صحيح من الشكائر فى تصميم الخلطة ، وفى حالة الأسمنت السائب بقياس بالوزن .

٢ - الركام : يقاس بالحجم فى صناديق ذات سعة معينة تملأ بدون دمك ، ويفضل القياس بالوزن لأنه يعطى نتائج أدق .

٣ - الماء : يقاس بالوزن أو الحجم قياسا دقيقا ، مع الأخذ فى الاعتبار كمية الماء المحتمل وجودها فى الركام .

د - الشدات والفرم :

ويجب أن يتوفر فيها الأمان الكافى لجميع العناصر الخرسانية أثناء التجهيز ورص أسياخ التسليح والصب وأثناء التصلد وحتى موعد فك الشدات ، كما يجب أن توفر مبادئ الأمن الصناعى لجميع العاملين مع توافر إمكانية التفتيش والمراقبة بيسر وأمان .

ويراعى فى تصميمها وتركيبها وسائل منع تحرك الشدة المذكورة فى قسم (٣ / ١ /) ، وكذلك يراعى أن تكون قوالب الشدة متينة ومحكمة لمنع تسرب اللباني . خلال الصب والدمك ، ويجب ألا يتعدى التفاوت فى مقاسات القوالب من الداخل القيم الواردة فى بند (٩ / ٨ / ٣) من الكود (٣) . وبالنسبة للبحور الكبيرة والكوابيل البارزة يتم تحديد فرم بطنيات الكمرات والبلاطات ذات البحور أكبر من ٨ م بقيمة $\frac{1}{3}$ إلى $\frac{1}{5}$ من البحر ، والكوابيل التى يزيد بروزها عن ١,٥ م بقيمة $\frac{1}{10}$ من طول البروز ، ويجب أن تنظف الفرمة من الداخل بعناية قبل رص الأسياخ وقبل الصب مباشرة ، ويفضل دهان أسطح القوالب الملاصقة للخرسانة بالزيت أو مادة مشابهة لتسهيل الفك . وفى حالة القوالب الخشبية ترش هذه الأسطح بالماء لمنع امتصاص الأخشاب لماء الخلط .

ويجب إعداد مسارات للعمال بحيث لا تؤثر حركتهم على صلب التسليح أو الخرسانة بعد صبها ، ويجب أن يكون فك الشدات والركائز بأسلوب لا يتسبب عنه حدوث أى شروخ أو تشوهات فى العناصر الخرسانية ، والمدة الواجب انقضاؤها بين صب الخرسانة وفك الشدة تحددها درجة الحرارة وطول البحر ونوع الأسمنت وأسلوب المعالجة والحمل الذى سيتعرض له العضو ، ويجب التأكد فى وقت الفك أن جهد كسر مكعبات الخرسانة يعطى القدر الذى يحقق معامل الأمان الذى تتطلبه اشتراطات التصميم ، وفى حالة عدم تقديم حسابات للجهد المطلوب وقت الفك ، فالحد الأدنى للمدة المطلوبة بعد الصب نص عليها الكود (٣) كما يلى - فى حالة الأسمنت البورتلاندى العادى - :

- فك فرم الجوانب والتى تعمل كمجرد غلاف للخرسانة بعد ٢٤ ساعة .
- فك الفرمة الحاملة للكمرات والبلاطات بعد (ضعف البحر + يومان) والبحر هو الطول الأصغر ولا تقل المدة عن أسبوع .
- فك فرم الكوابيل بعد (٤ مرات بروز الكابولى بالأمتار + يومان) ولا تقل المدة عن أسبوع .

وفى حالة الأسمنت سريع التصلد يمكن فك الفرغ قبل ذلك إلا فى حالة انخفاض درجة الحرارة عن 15°C .

وعندما تكون الفرغ والركائز حاملة لأحمال إضافية - كما فى حالة الطابق الذى يحمل وزن الطابق التالى حديث الصب - لا يجوز فك القوائم قبل ٢٨ يوما ، مع اتخاذ كافة الاحتياطات التى تضمن ارتكاز هذه القوائم على أرضية تتحمل الأثقال بأمان ، وفى حالات الكمرات المقلوبة والأسقف المعلقة بواسطة أعمدة شد تبدأ المدة اللازمة لفك الشدات من وقت صب الكمرة المقلوبة أو السقف الحامل للسقف المعلق .

ولا يجوز إطلاقا تكسير أو عمل فجوات فى الأعمدة أو فتحات فى الكمرات والبلاطات بعد صبها إلا بعد الرجوع للمهندس المصمم ، ويجب عمل الفجوات والفتحات المطلوبة فى الفرغ قبل الصب .

هـ - إنتاج ومعالجة الخرسانة :

هـ / ١ - التجهيز والإعداد للصب :

١ - يلزم أن تكون جميع معدات الخلط والنقل نظيفة ، ويجب معايرتها قبل البدء فى العمل ، وتكرار ذلك على فترات يحددها المهندس المشرف .

٢ - يثبت صلب التسليح بواسطة تخانات من البلاستيك أو القطع الأسمنتية أو ما شابه ذلك لحفظ المسافات أثناء الصب .

« لا يسمح بتكسيح صلب تسليح البلاطات أثناء الصب .

« يمنع تماما السير على صلب التسليح بعد تشكيله .

٣ - يجب أن يكون صلب التسليح نظيفا من المواد الضارة العالقة و / أو اللاصقة به وخاليا من أية قشور نتيجة الصدأ .

٤ - فى حالة صب الخرسانة تحت الماء يلزم نزع المياه قبل الصب إلا إذا استخدم قادوس الصب تحت الماء بعد أخذ موافقة المهندس الاستشارى .

٥ - قبل صب خرسانة جديدة يلزم إزالة بقايا الخرسانة القديمة والمواد العالقة بها ، ثم معالجة سطح الخرسانة لتأمين التلاحم بين الخرسانتين .

هـ / ٢٠ - خلط الخرسانة :

١ - يلزم خلط الخرسانة ميكانيكياً^{١٢} فى خلطات ذات سعة تتناسب مع معدل النقل والصب حتى يصبح توزيع مكوناتها منتظماً ، ويلزم تفريغ الخلط تماماً قبل إعادة شحنة .

٢ - يجوز خلط الخرسانة يدوياً ، إذا دعت الضرورة القصوى لذلك وبعد موافقة المهندس الاستشارى للمشروع ، وفى هذه الحالة يتم الخلط بتقليب المواد تقليباً جيداً بالنسب المطلوبة على طبليّة مستوية بواسطة الجاروف ذى الشداد ، ويلزم خلط الأسمنت إلى الركام الكبير ، ويقلب على ثلاث دفعات على الأقل ثم يضاف الماء تدريجياً بالقدر المطلوب للخلطة ، ويستمر التقليب والخلط حتى تتجانس الخلطة لونا وقواماً بحيث تحقق الاشتراطات التصميمية .

٣ - فى حالة استخدام الخرسانة سابقة الخلط يلزم الرجوع إلى الاشتراطات الخاصة بها قبل السماح باستخدامها ، وكذلك فى حالة استخدام مضخات الخرسانة .

٤ - يجب تدوين المعلومات التالية بكراسة الموقع :

- * نسب مكونات الخلط .
- * عدد الخلطات - الدفعات - وحجمها التى استخدمت فى صب أجزاء المنشأ .
- * أماكن صب الخرسانة .
- * زمن وتاريخ الخلط .
- * إجراءات ضبط الجودة .

٥ - فى حالة الخلط الميكانيكى يتم تفريغ ونقل العبوة من الحلة إلى مكان صبها بواسطة السير الناقل أو بالونش الواقع أو الميزاب أو مضخة الخرسانة ، كما يجوز تفريغها على طبليّة صماء توطئة لنقلها يدوياً ، مع مراعاة عدم تفريغ خلطة جديدة على الطبليّة قبل تمام نقل الخلطة السابقة .

هـ / ٢١ - صب الخرسانة :

١ - يلزم صب الخرسانة بعد تمام : لمطها مباشرة مع مراعاة تجنب انفصال مكوناتها ، على ألا تزيد المدة ما بين إضافة ماء الخلط وصب الخرسانة على ٣٠ دقيقة فى الجو العادى

و ٢٠ دقيقة فى الجو الحار ، وأن يتم دمكها قبل مضى ٤٠ دقيقة فى الجو العادى و ٣٠ دقيقة فى الجو الحار ، أما إذا استلزم الأمر زيادة الفترات السابقة فإنه يلزم إضافة مؤجلات للشك عند الخلط يوافق عليها المهندس الاستشارى للمشروع وبالنسب التى يتفق عليها ، على أن يؤكد ذلك معمليا قبل بدء الصب .

٢ - يلزم عدم استخدام الخرسانة التى شكت أو تصلدت جزئيا أو لوثت بمواد غريبة .

٣ - يلزم مراعاة تحديد أماكن وصلات الإنشاء - أماكن إيقاف الصب - مسبقا قبل بدء الصب .

٤ - إذا بدأ الصب فإنه يلزم أن يستمر تماما بانتظام حتى الانتهاء من صب الجزء المتفق عليه .

٥ - يلزم دمك الخرسانة جيدا باتباع الأسس المنصوص عليها فى البند رقم (هـ / ٤) .

٦ - فى حالة صب خرسانة بارتفاع كبير يراعى أن تصب على طبقات تتراوح بين ٣٠ - ٥٠ سم ، مع استعمال الهزاز الميكانيكى حتى يمكن دمك الخرسانة أولا بأول ، ويراعى ألا يمضى أكثر من ٤٠ دقيقة فى الجو العادى أو ٣٠ دقيقة فى الجو الحار بين تعاقب الطبقات ، بحيث لا تكون الطبقة السفلى قد بدأت فى التصلد عند بدء صب الطبقة التالية ، ويجوز تجاوز هذه المدة إذا توافر وجود تسليح قص رابط لطبقات الصب المتتالية لمقاومة إجهادات القص التى تنشأ عند فواصل الصب ، وبشرط أن يكون المهندس المصمم قد أخذ فى اعتباره حسابيا فى مرحلة التصميم . كما يراعى اتباع جميع الاشتراطات الواردة فى البند (هـ / ٦) قبل البدء فى صب خرسانة فوق أخرى تصلدت .

٧ - فى حالة الأعمدة التى يتجاوز ارتفاعها ٢,٥ مترا فلا يجوز صبها بكامل ارتفاعها ، ويجب تقسيم أحد جوانب القالب إلى أجزاء لا يتجاوز ارتفاعها ٢,٥ مترا يتم تقفيلها أولا بأول حتى يمكن الصب تباعا ، مع ضرورة دمك الخرسانة باستخدام الهزاز الميكانيكى .

٨ - بالنسبة للخرسانة التى تصب فى الأجواء الحارة جدا - درجة حرارة أعلى من ٣٦ م فى الظل - يجب مراعاة ما جاء فى البند رقم (٩ / ٤) .

٩ - إذا دعت الضرورة صب خرسانة تحت الماء وبدون عملية نزع المياه فيراعى أن تكون الخلطة الخرسانية قليلة الماء (مفلقلة) ، وتصب من خلال ماسورة قطرهما (١٠ - ١٥ مم) تصل إلى القاع المطلوب صب الخرسانة عليه بحيث يراعى أن حافة الماسورة السفلية تكون غاطسة في الخلطة الخرسانية ، على أن ترفع الماسورة أثناء الصب بمعدل لا يسمح بخروج الماسورة من الخلطة حتى لا تتسرب المياه بداخلها .

هـ / ٤ - دمك الخرسانة :

تشمل عملية الدمك الغز والهز لتنساب الخلطة الخرسانية حول التسليح ولتملأ القالب للمنسوب المطلوب . ويجوز الدمك يدويا إذا لم ينص على استعمال الوسائل الميكانيكية مثل الهزازات الغاطسة - الداخلية - أو هزازات القالب الخارجية أو هزازات الأسطح ، وعلى العموم فإنه يفضل استخدام الهزازات الميكانيكية ، ويلزم أن يقوم بعملية الدمك شخص متخصص مدرب بحيث يتوقف عن الدمك بعد الانتهاء من ظهور فقائيع الهواء ، ويجب عدم لمس الهزاز الداخلى لحديد التسليح أثناء الدمك .

ويراعى ألا يتسبب الصب والدمك بأى حال من الأحوال فى قلقلة الخرسانة التى سبق صبها أو زحزحة أسياخ التسليح أو إحداث تغيير فى مقاسات القوالب .

هـ / ٥ - معالجة الخرسانة ووقايتها :

١- تلزم معالجة الخرسانة فى درجة حرارة لا تقل عن عشرة درجات مئوية ، على أن تكون فى حالة رطوبة تماما للفترات الزمنية التالية :

أ - ٧ إلى ١٥ يوماً فى حالة استخدام أسمنت بورتلاندى عادى .

ب - ٥ إلى ١٠ أيام فى حالة استخدام أسمنت سريع التصلد ، أو فى حالة استخدام إضافات معجلة . وفى حالة عدم اتباع المعالجة الرطبة يسمح باستخدام مركبات معالجة معتمدة ، ترش ميكانيكيا بصورة متصلة لضمان تغطية سطح الخرسانة بصورة كاملة لحمايتها من فقد ماء الخلط . كما يمكن استخدام المعالجة بالبخار أو غيره .

٢ - يجب وقاية الخرسانة حديثة الصب من المطر والجفاف السريع وخصوصا فى حالة الجو الحار أو الجاف أو العاصف ، وذلك بتغطيتها بأغطية مناسبة من وقت انتهاء صب

الخرسانة إلى وقت الذى يصبح فيه السطح صلبا بدرجة كافية ، بحيث يمكن معالجته بطرق المعالجة المختلفة .

٣ - يجب ألا تعرض الخرسانة المسلحة أثناء معالجتها لماء يحوى أملاحا ضارة .

٤ - يجب ألا تعرض الخرسانة لأية أحمال مثل : ضغط الماء الجوفى أو ردم ترابى لا سيما المشبع بالماء إلا بعد أن تصل مقاومة الخرسانة إلى مقاومتها المقررة .

هـ / ٦ - فواصل الصب :

يراعى عند عمل فواصل الصب الشروط والاحتياطات التالية :

١ - أن تكون الفواصل فى الكمرات والبلاطات عند مواقع القيم الدنيا لقوى القص ما أمكن أو عند نقط انقلاب العزوم المجاورة للركائز .

٢ - يجب أن يكون الفاصل متعامدا مع القوى الداخلية المؤثرة .

٣ - تعمل الفواصل بين الكمرات العميقة أو المقلوبة والبلاطات المتصلة بها عند مواقع هذا الاتصال ، مع مراعاة صب مشاطيف البلاطات إن وجدت مع البلاطات .

٤ - يفضل أن يحدد المنفذ فواصل الصب مسبقا على اللوحات التنفيذية ، مع مراعاة إيضاح حديد التسليح اللازم لنقل قوى القص والشد الرئيسية عند الفواصل ، وذلك لإمكان عرضها على المهندس المصمم إذا لزم الأمر .

٥ - عند استئناف صب الفواصل الأفقية - بعد أكثر من يوم - ينحت سطح الخرسانة جيدا لإظهار الركام الكبير ، ثم ينظف السطح حتى تزال البقايا السائبة ، ثم يغسل بالماء حتى التشبع ، وترش طبقة من الأسمنت اللباني أو دهانات لزيادة التماسك بين الخرسانة القديمة والجديدة .

هـ / ٧ - فواصل الانكماش :

فى حالات المسطحات الواسعة التى تتطلب عمل فواصل انكماش بها لتفادى حدوث تشققات مثل أرضيات المصانع والجراجات وغيرها ، تقسم تلك المسطحات إلى مجموعة من الأجزاء لا يتجاوز أكبر بعد فيها ٢٥ مترا ، ثم تصب أولا الأجزاء الفردية أو الزوجية ، وبعد مضى أسبوع على الأقل يستكمل تبادلها صب باقى الأجزاء ، مع عمل فواصل بين الأجزاء الفردية والزوجية بعرض ٢ سم على الأقل ، يملأ بعد الصب بالبيتومين

أو أى مادة مماثلة .

ويجوز صب كامل المسطحات والأرضيات الكبيرة دفعة واحدة بشرط اتباع نفس الخطوات السابقة ، وعمل فواصل مرنة بين الأجزاء تسمح بحرية حركة الخرسانة فى هذه الأجزاء .

هـ / ٨ - فواصل التمدد :

تكون المسافة القصوى بين فواصل التمدد للمنشآت العادية كما يلى :

- من ٤٠ إلى ٤٥ مترا فى المناطق المعتدلة .

- من ٣٠ إلى ٣٥ مترا فى المناطق الحارة .

ويمكن أن يسمح بزيادة هذه المسافات بشرط الأخذ فى الاعتبار عن التصميم تأثير عوامل التمدد والانكماش والزحف .

وفى حالة الأعمال الكتلية كالحوائط الساندة والأسوار يجب ترتيب الفواصل على مسافات أقل .

هـ / ٩ - صب الخرسانة فى الأجواء الحارة جدا :

إذا زادت درجة الحرارة عن ٣٦ درجة مئوية فى الظل أثناء خلط وصب الخرسانة يجب مراعاة الاحتياطات التالية :

- تظليل تشوينات الركام - الكبير والصغير - كما يمكن فى حالة الركام الكبير تبريده باستخدام رشاشات مياه .

- إذا كان الأسمنت سائبا فى صوامع فإنه يجب دهانها من الخارج بمادة عاكسة لأشعة الشمس ، أما إذا كان فى أكياس فترص الأكياس تحت سقيفة مهواة .

- تبريد الماء قبل استعماله فى خلط الخرسانة .

- دهان الخلطات من الخارج بمواد عاكسة لأشعة الشمس و / أو تغطية الحلة بطبقة أو أكثر من الخيش مع رشها بالمياه .

- رش القوالب بالمياه قبل الصب وفى حالة إنتاج عناصر خرسانية سابقة التجهيز تصب فى مساحات مظلة .

٣ - صيانة المنشآت الخرسانية

٣ / ١ - مقدمة :

جرى العرف لعدة قرون على اعتبار أن المنشآت الخرسانية دائمة ولا تحتاج أجزاءها الخرسانية إلى صيانة ، وكان الاعتقاد السائد أن العمر الافتراضى للمبنى لا تحدد الأعضاء الخرسانية وإنما عوامل أخرى ، ولكن هذا الاعتقاد تغير تغيرا كبيرا فى العقد الماضى ، وكان لتدهور الكثير من المنشآت الخرسانية فى مختلف أنحاء العالم التأثير الأكبر فى هذا التغير ، فالكبارى فى أمريكا الشمالية أصاب بلاطتها العلوية صدأ شديدا بسبب استخدام أملاح إذابة الجليد ، تكلف بلايين الدولارات لإصلاحها ، ومباني الخرسانة المسلحة بدول الخليج العربى ٩٠ ٪ منها أصابها الصدأ الناشئ من الكلوريدات ، ومواسير المجارى الخرسانية فى كثير من أنحاء العالم تآكلت بفعل هجوم حامض الكبريتيك عليها ، والأساسات فى كثير من الأماكن تدهورت بفعل هجوم الكبريتات من المياه الجوفية ، وظهر التأثير الضار لتفاعل القلويات مع السيليكا النشطة فى كثير من بلدان العالم من بريطانيا شمالا إلى جنوب إفريقيا جنوبا ، ومن استراليا شرقا إلى أمريكا غربا ، وظهر الصدأ فى كثير من المباني الخرسانية بالمدن الساحلية .

وكما هو الحال دائما فالحاجة أم الاختراع ، فمشاكل تدهور الخرسانة دفعت المختصين إلى إحداث كثير من التطور على وسائل حماية المنشآت الخرسانية ، وقد ظهر اهتمام الدوائر المختلفة بتدهور الخرسانة ووسائل علاجها فى عدة مظاهر ، فمن مقالات متعددة فى كل الدورات المهمة بالخرسانة ، إلى برامج بحثية فى وسائل علاج عيوب المنشآت الخرسانية ، إلى برامج قومية لرصد المنشآت الخرسانية وتحديد حاجتها للصيانة والإصلاح ، إلى مجموعات عمل دائمة للبحث فى أسباب تدهور الخرسانة ووسائل علاجها ، إلى مواد جديدة تظهر كل يوم كل مادة منها تختص بإصلاح نوع من أنواع العيوب وتسترد للمنشأ سابق قوته أو سابق مظهره وحسن أدائه لوظيفته ، إلى معدات لفتح

مونة الإصلاح أو رثن الخرسانة أو حقن الايوكسى إلى أجهزة للكشف عن صدأ الحديد ومعرفة مداه ومعدله بدون تكسير العضو الخرساني ، إلى اختبارات غير متلفة تحدد مقاومة الخرسانة فى المنشآت المقامة كما تحدد تغلغل التحول الكربونى أو الكلوريدات أو الأحماض فى الأعضاء الخرسانية .

وقد حدث بالفعل تطور كبير ليس فى مجال فهمنا لطبيعة الخرسانة كمادة إنشائية فقط ، وإنما كذلك فى فهمنا لعوامل تدهورها - حتى أمكن تصنيف أسباب حدوث شروخ الخرسانة مثلا إلى ثلاثين نوعا مختلفا - وفى قدرتنا على علاج هذا التدهور وجعل العضو الخرساني يسترد قدرته على تحمل الأحمال ويسترد مظهره وتحمله مع الزمن فى آن واحد .

٣ / ٢ - استراتيجية الصيانة :

بعد التطور الذى حدث فى العقود الأخيرة لفهمنا للخرسانة المسلحة وأنها لا تبقى إلى الأبد وإنما تحتاج إلى صيانة كغيرها من المواد وإلا تدهورت ولم يصل المبنى للعمر الافتراضى له ، بعد هذا التطور كان لابد من وضع برنامج لصيانة المنشآت الخرسانية يضع فى اعتباره قلة الموارد الموجهة لعمليات الصيانة ، كما يضع فى اعتباره أن الوقاية دائما خير من العلاج .

وبالنسبة للمنشآت الخرسانية فى معظم بلدان العالم فإن هناك احتمالين بالنسبة لوضع الصيانة :

أ - إما أن يكون هناك خطة للصيانة ضمن وسائل إدارة المبنى ، والمقصود بخطة الصيانة أن تشمل برنامج للفحص يمكن من رصد وتقويم أداية المبنى (State of performance) رسدا دائما والقيام بالإصلاحات اللازمة كلما ظهرت ضرورة ذلك .

ب - أو لا يكون هناك خطة للصيانة وإنما كلما ظهرت بوادر تدهور فى أداية المبنى أو وصوله لدرجة غير مقبولة فإن الإصلاح يبدأ ، وهذا التدهور يمكن رصده بظواهر على المبنى مثل الشروخ أو تساقط الخرسانة ... إلخ .

وفى معظم الأحوال فإن الاحتمال الثانى هو الغالب بالنسبة لأغلب المباني إلا القليل الهام منها .

وفى مصر يوجد احتمال ثالث لا نظير له فى البلاد الأخرى وهو ظهور العيوب وتزايدها دون أن يتحرك أحد لإصلاح المبنى ، وسبب هذا الوضع العجيب هو أن السكان ينتظرون من مالك العقار القيام بأعمال الصيانة والإصلاح ، بينما مالك العقار يتقاضى إيجارا زهيدا نتيجة لتدخل الحكومة المستمر بخفض الإيجارات ومنع المالك بحكم القانون من زيادة الإيجار أو إنهاء عقد الإيجار ، فأصبح ما يدره العقار على المالك لا يكفى قوته فضلا عن إصلاح العيوب إذا ظهرت ، وأصبح يتمنى زوال العقار أو انهياره حتى يستطيع بيع الأرض التى ارتفع سعرها أضعافا كثيرة ، وقد حدثت انهيارات فعلا نتيجة لعدم القيام بالإصلاحات اللازمة فى حينها .

واستراتيجية الصيانة تقوم على عدة أسس ، منها :

أ - تخفيض تكلفة الصيانة المطلوبة لكى لا ينخفض مستوى أداء المبنى عن مستوى معين .

ب - أن تغنى عملية الصيانة عن إجراء إصلاحات كبيرة لاسترداد مظهر المبنى أو الأداء الوظيفى له .

ج - أن تكون الإصلاحات التى لابد أن تحدث بعد وقت معين - حتى مع وجود الصيانة - أرخص ما يمكن .

د - أن تكون ميزانية الصيانة فى حدود المبالغ المتاحة لذلك وهى عادة ما تكون قليلة .

هـ - أن تتم الصيانة بطريقة لا تؤثر على رونق المبنى ولا راحة السكان أو العاملين به .

وعدم القيام بأعمال الفحص والصيانة يمكن أن تؤدى إلى نقص فرة الأعضاء على تحمل الأحمال وقد يصل الأمر إلى انهيارها ، فالتدهور الذى لا يلحظ مبكرا ويعالج يمكن أن يتطور بطريقة خطيرة ، وفى بعض الأحوال فقد يسبب التشكل الزائد والتشريح إزعاجا للسكان والعاملين بالمبنى فقط ، أما إذا كانت الشروخ نتيجة للصدأ فقد يبدأ الأمر بإفساد

مظهر المبنى ، وقد يصل إلى الحد الذى يهدد سلامة المبنى نفسه ، وبوجه عام فالصيانة غير الكافية ستؤدى إلى زيادة تكلفة الإصلاح عندما يصبح التدهور ملحوظا ، وينخفض مستوى الأداء إلى حد غير مقبول .

٣ / ٣ - أعمال الصيانة :

قبل التحدث تفصيلا عن أعمال الصيانة المطلوبة لابد أولا من تحديد ما هو المقصود بتحمل المبنى مع الزمن ؟ ومتى تعتبر العيوب التى ظهرت تدهورا يجب إصلاحه ؟ وما هو المقصود بكلمة صيانة وما هو المطلوب منها أن تؤديه ؟

تعريفات :

التحمل مع الزمن (Durability) :

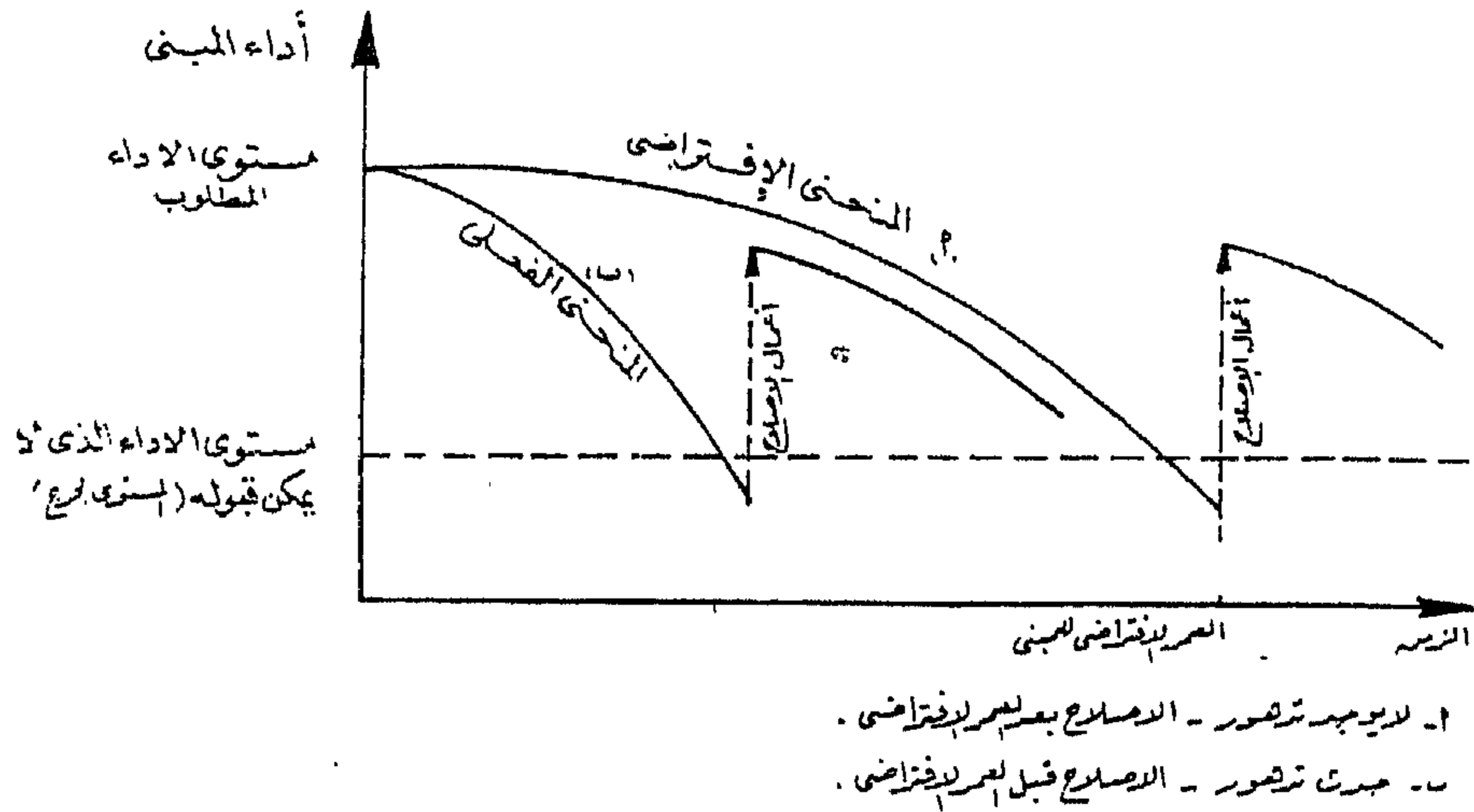
هو قدرة المبنى كله وكل عضو فيه على حدة على الاستمرار فى أداء الوظيفة التى صمم من أجلها طوال فترة العمر الافتراضى للمبنى على الأقل .

التدهور (Damage) :

وهو كل ما يؤثر على حسن أداء العضو لوظيفته ويجعل أدائه يصل إلى مستوى لا يمكن قبوله - شكل (٧ / ١) - ولم يكن من المتوقع حدوثه أثناء العمر الافتراضى للمبنى .

ولتوضيح هذا التعريف قارن بين المنحنى (أ) بشكل (٧ / ١) والذى يمثل المفترض للمبنى أو العضو فى حياته والمنحنى (ب) الذى يمثل الأداء الفعلى لهذا المبنى ، فالصيانة تصبح هى الأعمال المطلوبة للمحافظة على أداء المبنى فوق المستوى الذى لا يمكن قبول ما هو دونه - شكل (٧ / ١) - وفى أغلب الحالات لا يفترض أن المبنى سينخفض أدائه عن هذا المستوى فى خلال عمره الافتراضى ، ولكن الواقع أن ما حدث هو أن المبنى انخفض أدائه عن هذا المستوى الحرج - المنحنى ب - أى أنه قد حدث تدهور لهذا المبنى احتاج إلى إصلاح حتى يستطيع المبنى استكمال عمره الافتراضى بمستوى مقبول من الأداء .

وعادة ما تستخدم كلمة تدهور بدلا من كلمة انهيار عند التعامل مع الخرسانة



شكل (٧ / ١) تأثير أداء المبنى مع الزمن

المسلحة ؛ لأن من العادة عدم توقع حدوث انهيار للمبنى أثناء عمره الافتراضى - رغم أن الانهيارات تحدث فى الدول المتقدمة والمتخلفة على حد سواء - راجع الباب الثانى - ولهذا فالصيانة تتعامل مع الأعضاء التى حدث لها تدهور ، ولكن الصيانة فى بعض الأحوال تتعامل مع أعضاء حدث لها تلف أو انهيار جزئى مثل حالة تغيير إطار السيارة الذى حدث له تلف أو ثقب حتى يمكن للسيارة أن تستمر فى أداء وظيفتها .

الصيانة (Maintenance) :

وهى كل الأعمال التى تصون أو تسترد أداء المبنى لوظيفته أو أداء أعضائه أو المواد المصنع منها لوظائفهم ، وتشمل هذه الأعمال التصميم - أساليب حماية الأعضاء الخرسانية والتأكد من عدم الوصول إلى الحالات الحدية المختلفة - والإعداد للصيانة ، بالإضافة إلى أعمال الصيانة ذاتها ، وهى أعمال الفحص والحماية والإصلاح .

وتبدأ أعمال الصيانة بمجرد تسلم المبنى من شركة المقاولات ، وذلك بتجميع كل

المستندات الدالة على حالة المبنى – رسومات التنفيذ كما حدث (As - done - draw - ings) ، سجلات اختبارات المكعبات والعينات ، سجلات ملاحظات جهاز التنفيذ على الأجزاء المختلفة من المبنى ... إلخ – وكذلك بتحديد الأعمال المطلوبة للمحافظة على أدائه والتي يحددها فريق التركيبات الفنية والصناعية .

الفحص للصيانة (Inspective maintenance) :

وتشمل الأعمال التي من شأنها تحديد كفاءة أداء المبنى والكشف عن أى نقص فيها ، وهى إما أعمال ملاحظة أو أعمال جمع معلومات .

أعمال الملاحظة يجب أن تتم بانتظام بواسطة عمالة مدربة ومعها قوائم كشف (check list) ، وجمع المعلومات يشمل المعلومات المتجمعة أثناء الفحص وتلك المستقاة من السكان أو العاملين بالمبنى أو المعلومات التى يدلى بها الشهود – بعد الحوادث أو الانهيارات الجزئية .

الصيانة الوقائية (Protective maintenance) :

وتختص بالأعمال التى تحسن من أدائية المنشأ عندما يكون أدائه ما زال لم يتأثر إلى درجة كبيرة بالعيوب التى بدأت فى الظهور .

أعمال الإصلاح (corrective maintenance) :

وتختص بأعمال الإصلاح اللازمة لاسترداد مستوى أداء المبنى إلى حالته الأصلية ، مثل ما تم على المنحنى (ب) فى شكل (١ / ٧) .

٣ / ٣ - الفحص للصيانة :

وتنقسم أعمال الفحص المطلوبة إلى فحص روتينى وفحص خاص .

أ - أعمال الفحص الروتينى :

وتقوم أساسا على الفحص البصرى مع بعض القياسات البسيطة – مثل قياس المناسيب والحركة الرأسية .

ب - أعمال الفحص الخاص :

وهي مطلوبة على فترات أطول من الوقت أو عند حدوث أية حوادث (مثل الحريق أو الفيضانات) أو فى المنشآت الهامة (مثل الكبارى أو الاستادات الرياضية) ، وتشمل قياسات خاصة وبعض الاختبارات ، وقد تشمل إزالة بعض الأجزاء غير الإنشائية (مثل الحوائط أو البياض) للوصول إلى الأجزاء الإنشائية الهامة لفحصها .

ونتائج الفحص من ملاحظات قياسات واسكتشات وصور ... إلخ يجب تسجيلها بدقة سواء فى ذلك نتائج الفحص الروتينى أو الفحص الخاص ، وحتى عدم وجود أى عيوب يجب تسجيلها ؛ لأن السجلات التى يظهر فيها بوضوح عدم وجود شروخ أو عيوب فى تواريخ الفحص المختلفة يمكن عن طريقها تحديد وقت ظهور هذه العيوب بدقة وهو من الأمور الهامة جدا عند تشخيص أسباب هذه العيوب .

ويجب القيام بالفحص الروتينى والفحص الخاص على فترات زمنية وتباعد أو تقارب هذه الفترات يعتمد على عدة عوامل ، منها :

١ - نوع المنشأ : على سبيل المثال هل به إجهادات عالية ؟ هل سيحدث توزيع للأحمال فى حالة ضعف أجزاء منه ؟ هل هو حساس للحركة ؟ هل الانهيار - إذا حدث - سيكون مفاجئا وبدون إنذار كاف ؟ .

٢ - ما سترتب على الانهيار : فالتحقق من سلامة الكوابيل التى تغطى مدرجات استاد رياضى دوريا أهم من التحقق من سلامة بلاطات المبنى السكنى العادى ، والكبارى التى تحمل مرورا كثيفا أهم من الكبارى الصغيرة على الطرق الفرعية ، وسلامة الأعمدة أهم من سلامة الكمرات ، والأخيرة أهم من سلامة البلاطات ، لأن انهيار الأعمدة سيؤدى إلى انهيار كل ما فوقها .

٣ - وجود ظروف جوية قاسية .

٤ - احتمالات حدوث التحميل بأحمال كبيرة مثل حالة كوبرى السكك الحديدية أو المخازن والمصانع التى يحدث بها تخزين فى الأدوار فوق الأرضى .

والجدول رقم (٧ / ١٠) يعطى اقتراحات بالنسبة لفترات الفحص الروتينى والفحص الخاص للأنواع المختلفة من المنشآت .

نوع المنشأ	ظروف البيئة المحيطة	ظروف التشغيل	فترات الفحص الروتيني	فترات الفحص الخاص
المباني السكنية والإسكان الإداري	عادية قاسية	عادية حادة	كل ١٠ سنوات كل ٥ سنوات	- كل ١٠ سنوات
المباني الصناعية	عادية قاسية	عادية حادة	كل ٥ سنوات كل ١ - ٥ سنوات	كل ١٠ سنوات كل ٢ - ٥ سنوات
مواسير المجاري والمجاري السفلية Culverts	عادية قاسية	عادية حادة	كل سنتين كل سنة	كل ٦ سنوات كل ٤ سنوات
كبارى الطرق السريعة	عادية قاسية	عادية حادة	كل سنتين كل ١ - ٢ سنة	كل ٦ سنوات كل ٤ - ٦ سنوات
كبارى السكك الحديدية	عادية قاسية	عادية حادة	كل سنتين كل سنة	كل ٦ سنوات كل ٤ سنوات
المباني الهامة مثل استادات الألعاب الرياضية والسدود	عادية قاسية	عادية حادة	كل سنتين كل سنة	كل ٥ سنوات كل ٣ سنوات

جدول (٧ / ١٠) مواعيد الكشف الروتيني والخاص على المنشآت

ومن المهم تحديد كيفية الوصول إلى الأماكن الحساسة والهامة من المنشآت لفحصها ، ويجب أخذ هذا في الاعتبار عند تصميمها ، وفي بعض الحالات يلزم تزويد بعض المنشآت الهامة بشدات وسلالم خارجية لأغراض الفحص .

لكى تتم الاستفادة القصوى من أعمال الفحص - وأعمال الصيانة بوجه عام - فيجب تخطيط العمل وتوصيف الأماكن الهامة المطلوب فحصها وتحديد الظواهر التي يجب أن يلتفت إليها من سيقوم بالفحص (صدأ ، شروخ ، تدهور سطحي - تشكيل زائد ... إلخ) ولفت النظر إلى العوامل المحتملة التي تؤدي إلى حدوث أضرار للمنشأ ، وذلك حتى يكون القائمون بالفحص على دراية بما يجب أن يبحثوا عنه ويتأكدوا من وجوده أو عدم وجوده ، ويستحسن تحديد شكل التقرير الذي يجب ملؤه عقب كل فحص ومحتوياته بدقة .

وتكلفة أعمال الفحص قد تزداد زيادة كبيرة إذا كان من الضروري استعمال معدات خاصة للوصول إلى الأماكن المطلوب فحصها أو لعمل قياسات خاصة ، ولكن ذلك لا يحدث إلا في أحوال خاصة ولبناني هامة ، كما تزداد تكلفة أعمال الصيانة إذا كانت هناك حاجة لإزالة بعض الحوائط والأجزاء غير الإنشائية للوصول إلى الأجزاء الإنشائية المطلوب فحصها ، وقد تظهر أعمال الفحص بعض العيوب التي تلقى ظلالاً من الشك حول أمان المنشأ أو تحمله مع الزمن ، وقد تظهر كذلك حاجة المنشأ إلى الإصلاح وفي هذه الحالة تبدأ الأعمال الأخرى للصيانة وهي أعمال الحماية وأعمال الإصلاح .

٣ / ٣ / ٢ - الصيانة الوقائية :

وتشمل زيادة الغطاء الخرساني في ظل الظروف البيئية القاسية وأعمال حماية الأسطح الخرسانية عن طريق الطبقات العازلة للرطوبة - قسم (٢ / ٤) - أو عن طريق الدهانات الحامية - قسم (١ / ٤) - كما تشمل حماية حديد التسليح عن طريق الدهان أو عن طريق الحماية الكاثودية (Cathodic Protection) - قسم (٣ / ٤) من هذا الباب .

كما تشمل أعمال الحماية الأعمال الخدمية مثل إعادة دهان طبقات الدهان الحامية ، وأعمال النظافة مثل نظافة مواسير التصريف للتخلص من ماء المطر ومنع تجمعها على الأسطح والتخلص من الفضلات الضارة بالخرسانة ، وأعمال النظافة مطلوبة بصفة خاصة في حالة الركائز القابلة للحركة تحت الكباري وعند فواصل التمدد حيث يؤدي تجمع الأتربة إلى منع حدوث هذه الحركة مما يسبب إجهادات عالية قد تؤدي إلى شروخ في الأعضاء الخرسانية أو الكراسي (bearings) التي تحملها .

٣ / ٣ / ٣ - أعمال الإصلاح :

وهي صيانة المباني التي حدث بها تدهور أدى إلى هبوط مستوى أدائها عن الحد المقبول أو يخشى أن يؤدي إلى ذلك إذا لم يحدث إصلاح سريع ، والباب الثامن به تفاصيل الإصلاحات الإنشائية وغير الإنشائية للأعضاء الخرسانية المختلفة وللأنواع المختلفة من شروخ وعيوب المنشآت الخرسانية .

٣ / ٤ - تكلفة الصيانة :

من وجهة النظر الاقتصادية فإن الهدف من وضع استراتيجية للصيانة هو جعل إجمالي عملية التكلفة الاستثمارية والتكلفة الدورية للصيانة أقل ما يمكن في خلال العمر الافتراضي للمبنى ، والمعادلة المعطاة في مرجع (٨) توضح العوامل التي يمكن أن تؤثر في هذه الاستراتيجية كما يلي : (معادلة (٧ - ١)) .

$$\text{التكلفة الرأسمالية للصيانة} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{ص \cdot م}{(1 + ف)^n} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\text{احتمال الانهيار} \times ح \cdot م}{(1 + ف)^n}$$

أ = التكلفة الاستثمارية لأعمال حماية المنشآت - زيادة الغطاء الخرساني - دهان الأسطح ... إلخ .

ص = التكلفة الدورية لإدارة المبنى وصيانته في السنة (م) .

ن = عدد السنوات المتوقع أن يكون أداء المنشأ خلالها بلا خلل .

ف = سعر الفائدة الحقيقي - المصحح بأخذ التضخم في الاعتبار .

احتمال الانهيار = احتمال عدم أداء المبنى لوظيفته في السنة (م) .

ح = تكلفة أعمال الإصلاح نتيجة الانهيار في السنة (م) .

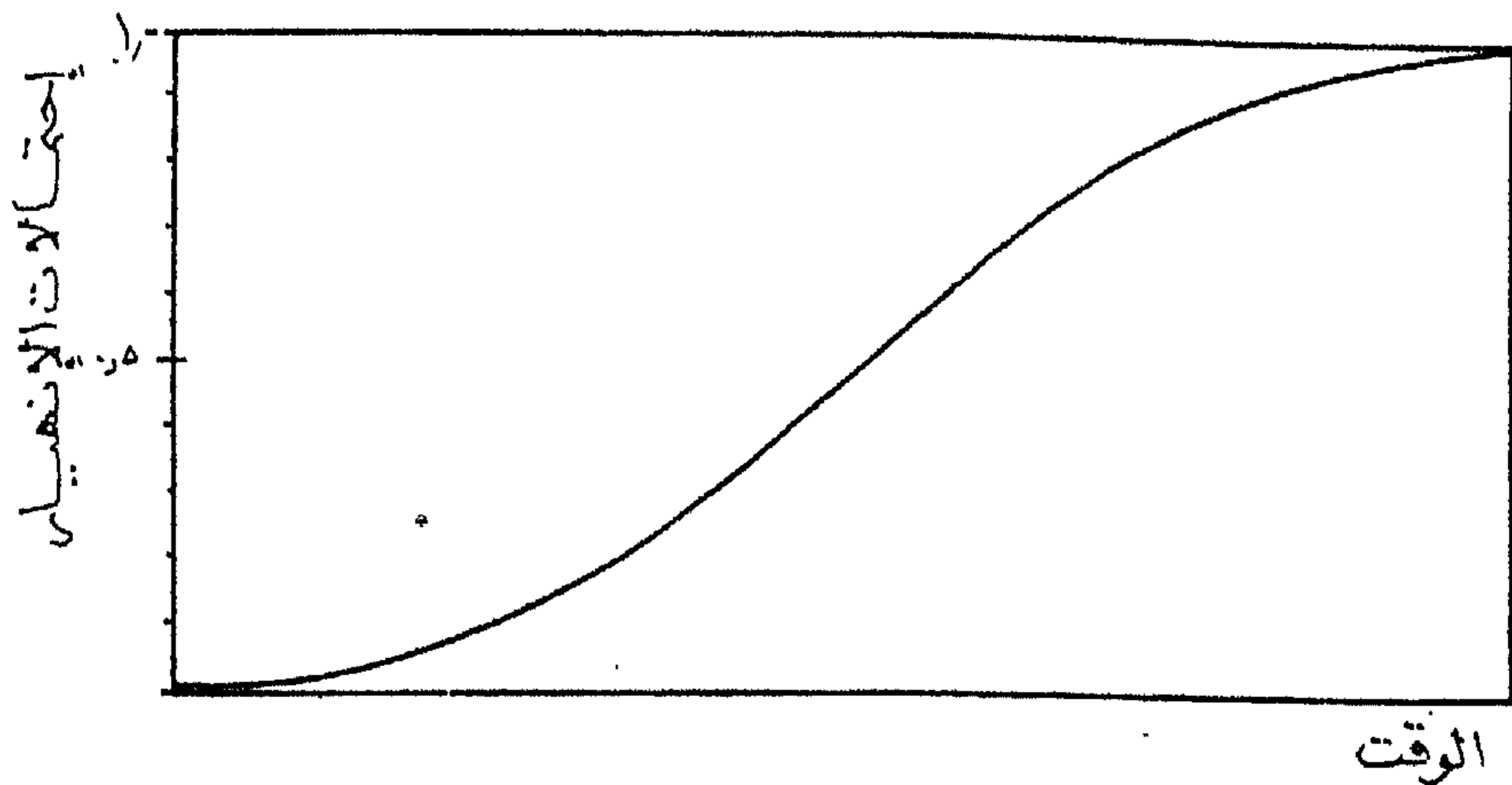
ويمكن استعمال نفس هذه المعادلة في حالة المباني التي لم يكن لها استراتيجية صيانة في الماضي ، ولكن في وقت ما وجد أنه لابد من إصلاح المبنى والبدء في عمل استراتيجية للصيانة ، وفي هذه الحالة تكون التكلفة الاستثمارية (أ) هي تكلفة أعمال الإصلاح .

وفي المعادلة المعطاة أعلاه هناك عدد من العوامل التي يجب إعطاؤها قيمة رقمية ، وبينما يسهل عمل ذلك بالنسبة لتكلفة أعمال حماية المنشآت أو التكلفة الدورية لإدارة

المبنى وصيانته فلن يكون ذلك سهلاً بالنسبة لاحتمالات الانهيار وتكلفة إصلاح هذا الانهيار إذا حدث ، وفى حالة عمل خطة صيانة لمبنى من المباني فإنها يجب أن تبدأ بعمل فحص شامل وتقييم لمستوى أداء المبنى ، ثم يبدأ الفحص الدورى وفى هذه الحالة فإن تكلفة إدارة المبنى وصيانته ستشمل الفحص المبدئى الشامل ثم الدورى ، وسيكون تقدير احتمالات الانهيار أسهل بالاستعانة بنتائج هذا الفحص الشامل - فمثلاً إذا أثبت الفحص المبدئى الشامل بدء حدوث التحول الكربونى للخرسانة السطحية فمن الممكن قياس وحساب معدله ، وبمعرفة سمك الغطاء الخرسانى يمكن تقدير المدة التى سيبدأ عندها صدأ الحديد ، وبأخذ الظروف البيئية المحيطة فى الاعتبار يمكن تقدير معدل الصدأ كذلك ، وكل هذه المعدلات يمكن أن تساهم فى تقدير احتمالات الانهيار وإن كانت تقريبية بالطبع ، وهذه العوامل - معدل التحول الكربونى ، سمك الغطاء الخرسانى ، معدل الصدأ - هى عوامل عشوائية ، أى أن التنبأ بها يتم بدقة تختلف من عامل إلى آخر .

وفى هذه الحالة يمكن استعمال نظريات الاحتمالات الحديثة فى حساب احتمال حدوث الصدأ واحتمال تشرخ الخرسانة وتساقطها بسبب هذا الصدأ بالاستعانة بهذه العوامل العشوائية ، وعموماً فدوال احتمالات الانهيار تأخذ الشكل المبين فى شكل (٧ / ٢) ، أى أن احتمالات الانهيار تكون بسيطة فى بداية عمر المنشأ وتزداد بمعدل بطيء حتى منتصف العمر ، ثم يزداد معدل احتمال الانهيار مع الوقت حتى يصل إلى أعلى قيم له قبيل حدوث الانهيار - احتمال الانهيار ١٠٠ ٪ - والكبارى الخرسانية أمثلة عملية على كيفية استعمال نتائج الفحص الشامل فى تقدير الانهيار والقيام بأعمال الحماية ومنع حدوث مزيد من الصدأ بناء على هذه النتائج ، وفى حالة كوبرى زيلاند بهولندا تم حساب احتمالات انهيار الكوبرى مع مرور الوقت على أساس الفحص الخاص الذى أجري على أجزاء عديدة منه ، وبناء على الحسابات التى أظهرت احتمالات انهيار عالية وغير مقبولة أخذت مجموعة من الإجراءات لمنع حدوث الصدأ مبنية على قياسات تغلغل الكلوريدات - انظر قسم ٤ / ٢ (خ ١٧) من الباب الثالث - وتقدير جودة الخرسانة خاصة فيما يتعلق بعدم نفاذيتها .

ولكن فى كثير من الأحيان يكون من الصعب حساب احتمالات الانهيار بدرجة مقبولة من الدقة ، فعلى سبيل المثال فى حالة وجود كلوريدات فى الخلطة الخرسانية - نتيجة استعمال إضافات معجلات الشك المحتوية على كلوريدات مثلاً - فسيحدث



شكل (٧ / ٢) احتمالات الانهيار (الفشل في أداء الوظيفة) مع الوقت

تباين كبير بين تركيز الكلوريدات في الأجزاء المختلفة من المنشأ ، مما سيؤدي إلى أن يصبح تقدير معدل الصدأ أمراً صعباً وغير دقيق .

ومن أكثر عناصر التكلفة صعوبة في الحساب عنصر تكلفة الصيانة بعد القيام بإجراءات الحماية والإصلاح ، وسبب الصعوبة في حسابه هو نقص معرفتنا بخصوص تحمل الإصلاح نفسه مع الزمن واستمراره في العمل بكفاءة وخاصة أساليب الحماية السطحية وتأكلها مع الوقت أو فقد الالتصاق بينها وبين الخرسانة .

٣ / ٤ / ١ - التفضيل بين البدائل :

بالرغم من الصعوبات السابق ذكرها بخصوص تقدير عناصر تكلفة الصيانة وخاصة فيما يتعلق بالتكلفة بعد أعمال الحماية أو الإصلاح ، فمن الممكن استعمال معادلة تكلفة الصيانة في مقارنة البدائل المختلفة والتفضيل بينها .

وفي مرجع (٨) بعض الأمثلة على استعمال هذه المعادلة سنعرض منها المثال الخاص

بإصلاح بلاطة المشاية الخارجية لمبنى متعدد الطوابق تعرضت للصدأ الشديد ، وسيجرى إصلاحها إصلاحاً إنشائياً باستخدام الخرسانة بالرش - انظر قسم (٤ / ٦ / ٦ / ٣) بالباب الثامن - وهناك أربعة بدائل يريد المصمم أن يفاضل بينها :

- ١ - بلاطة ذات غطاء خرساني ١,٥ سم بدون دهان .
- ٢ - بلاطة ذات غطاء خرساني ٣ سم وبدون دهان .
- ٣ - بلاطة ذات غطاء خرساني ١,٥ سم مع تغطيتها بدهان وعمل صيانة له كل ٢٠ سنة .
- ٤ - بلاطة ذات غطاء خرساني ١,٥ سم مع تغطيتها وعمل صيانة له كل ١٠ سنوات .

والمفاضلة بين هذه البدائل سيكون لمعرفة أيها أقل من ناحية تكلفة الصيانة ، بشرط أن يكون أداء البلاطة مقبولا طوال العمر الافتراضي للمبنى المقدّر بستين سنة ، وعلى أساس أخذ عامل واحد من العوامل المسببة لتدهور الخرسانة - لتبسيط المسألة - وهو ثاني أكسيد الكربون وهذا العامل سيسبب التحول الكربوني في الوجه السفلي للبلاطة مما سيؤدي إلى صدأ الحديد ، ويعتبر التدهور - الأداء غير المقبول - قد حدث عن سقوط الغطاء الخرساني للسطح السفلي للبلاطة .

ولكي نبدأ في استعمال معادلة تكلفة الصيانة فلا بد من حساب الوقت إلزام لحدوث التدهور في البدائل الأربعة ، وتحديد بدائل الإصلاح إذا حدث التدهور قبل انتهاء العمر الافتراضي للمبنى .

أ - معدل التحول الكربوني :

العلاقة بين عمق التحول الكربوني (ع) بالملم ، والوقت (ت) بالسنين تعبر عنه المعادلة (٧ - ٢) :

$$ع = أ . \sqrt{ت} \dots\dots\dots (٧ / ٢) \text{ (انظر قسم ٢ / ٢ / ٦ من الباب الرابع)}$$

حيث (أ) مقدار ثابت يعتمد على نفاذية الخرسانة كما يعتمد على كمية ثاني أكسيد الكربون في الجو المحيط بالبلاطة ، ويمكن حساب (أ) من المعادلة (٧ - ٣) (انظر قسم ٢ / ٢ / ٦ من الباب الرابع) :

$$أ = \frac{٤٦ (م / س) - ١٧,٦}{٢,٧} \times س \times ج \dots (٣ - ٧)$$

حيث : (م / س) نسبة الماء : الأسمنت (أقل من ٠,٦) .

س : تأثير نوع الأسمنت .

ج - تأثير الجو المحيط .

وتعطى المعادلتان (٢ - ٧) ، (٣ - ٧) عمقا متوسطا للتحويل الكربونى فى البلاطة كلها ، أما أقصى عمق للتحويل الكربونى فقد يزيد عن العمق المتوسط بمقدار ٥ - ١٠ مم .

فإذا افترضنا أن م / س = ٠,٥ ، س = ١,٢ (للأسمنت الذى به خبث بنسبة ٦٠ %) و ج = ٠,٧ (خرسانة محمية فى ظروف الجو الخارجى) فإن عمق التحويل الكربونى يصبح :

$$ع^٢ = (٠,٧ \times ١,٢ \times \frac{١٧,٦ - ٢٣}{٢,٧})^٢ \times ت = ٢,٨ ت \dots (٤ - ٧)$$

ب - الوقت اللازم للصدأ :

الوقت الذى يمر منذ بدأ الصدأ وحتى ظهوره وبشكل واضح - تساقط الخرسانة السطحية - يعتمد على سمك الغطاء الخرسانى وقطر السيخ ومعدل الصدأ حسب العلاقة (٥ - ٧) :

$$\text{الوقت اللازم لظهور الصدأ} = ت ص = \frac{٠,٠٨ \times غ}{٠ \times م ص} \dots (٥ / ٧)$$

حيث غ = سمك الغطاء الخرسانى بالمم \varnothing = قطر السيخ بالمم .

م ص = معدل الصدأ ، وهو تتراوح بين ٠,٠١٥ - ٠,٠٩ مم / سنه فى الأبحاث العلمية المنشورة حول صدأ الحديد ، ويمكن اعتبارها ٠,٠٤ مم / سنة كقيمة متوسطة .

ج - الوقت اللازم لحدوث تدهور البلاطة :

كما سبق تعريفه فهو الوقت اللازم لحدوث تساقط (spalling) للخرسانة

السطحية ، وهو مجموع الوقت اللازم لوصول التحول الكربوني لأسياخ التسليح ، والوقت اللازم للصدأ الذى يؤدي إلى تساقط الغطاء الخرساني .

وحيث إن أقصى عمق للتحويل الكربوني يزيد بمقدار ٥ - ١٠ مم عن العمق المتوسط له ، وحيث إن ذروة التحول الكربوني لا تتقابل دائما مع سيخ حديد ليبدأ الصدأ فيه ، فيمكن استبدال (ع) فى المعادلة (٧ - ٢) بالمقدار (غ - ٥) ، أى أن عمق التحول الكربوني عندما يصل إلى سمك الغطاء الخرساني ناقص ٥ مم فيمكن أن يفقد الحديد الطبقة الحامية له ويبدأ الصدأ ؛ لأن عمق التحول الكربوني غير منتظم وقيمة (ع) فى المعادلة هى قيمة متوسطة .

وعلى ذلك يصبح الوقت اللازم لوصول التحول الكربوني إلى أسياخ التسليح للبدائل المختلفة محسوبا من المعادلة (٧ - ٤٠) هو كالاتى :

١ - البديل الأول :

$$ت = \frac{(١٥ - ٥)^2}{٣٦} = ٢,٨ \text{ سنة .}$$

والوقت اللازم لصدأ الحديد الذى يسبب تساقط الخرسانة (بافتراض أسياخ قطر ٨ مم) - معادلة (٧ - ٥) :

$$ت = \frac{١٥ \times ٠,٨}{٨ \times ٠,٤} = ٣,٧٥ \text{ سنة}$$

أى أن الوقت الكلى اللازم لحدوث التدهور = ٣٦ + ٣,٧٥ = ٤٠ سنة تقريبا .

ملحوظة : لاحظ أن أغلب الوقت يمضى فى حدوث التحول الكربوني للغطاء الخرساني أما حدوث الصدأ نفسه فيستغرق وقتا أقل .

٢ - البديل الثانى :

وفى حالة البلاطة ذات الغطاء الخرساني بسمك ٣٠ مم يصبح الوقت اللازم لحدوث التحول الكربوني :

$$ت + ت ص = \frac{٣٠ \times ٠,٨}{٢,٨} + \frac{(٥ - ٣٠)^2}{٣٦} = ٢٢٣ + ٧,٥ = ٢٣٠ \text{ سنة}$$

ملحوظة : لاحظ الزيادة الكبيرة فى التحمل مع الزمن لزيادة الغطاء الخرساني من ١,٥ سم إلى ٣ سم .

تأثير طبقة حماية الأسطح :

إذا كان سطح البلاطة السفلى محميا بطبقة غير منفذة لثاني أكسيد الكربون (كلورو - فينيل أو دهانات الإيبوسكى) فإن الوقت اللازم لتحول الغطاء الخرساني كربونيا وبدء حدوث صدأ فى الأسياخ يزداد زيادة كبيرة ، وفى مرجع (٨) تقدر هذه الزيادة من المعادلة (٦ - ٧) :

$$\text{الزيادة فى وقت التحول الكربونى} = \frac{(غ - ٥) \times س د}{ن \times ١٨٠} = \dots (٦ - ٧)$$

حيث : س د : سمك طبقة الدهان ، ن : نسبة السطح غير المغطى بالدهان ، سواء نتيجة عيب الدهان أو تآكل طبقة الدهان مع الوقت - وهى نسبة ضئيلة يمكن أن تصل إلى ١٠ - ٥ .

وعلى سبيل المثال لو أخذنا طبقة دهان سمكها ١,٨ مم ونسبه السطح غير المغطاة بالدهان ١٠ - ٥ تصبح الزيادة فى وقت التحول الكربونى $= \frac{١,٨ \times (٥ - ١٥)}{٥ - ١٠ \times ١٨٠} = \frac{١,٨ \times ١٠}{٥ - ١٠ \times ١٨٠} = ١٠٠٠$ سنة

ملحوظة : لاحظ الحماية التى توفرها طبقة الدهان للخرسانة حيث يزيد تحملها مع الزمن لمدة طويلة جدا .

ولكن يجب الأخذ فى الاعتبار تآكل طبقة الدهان مع الوقت ، فإذا كان معدل التآكل مع الوقت بحيث تتضاعف نسبة الجزء من السطح غير المغطى بالدهان كل سنة ، فإن العلاقة بين نسبة الجزء غير المغطى والوقت يوضحها شكل (٣ / ٧) .

فإذا كانت الصيانة كل ١٠ سنوات فإن نسبة الجزء غير المغطى تزداد فى نهاية هذه المدة إلى عشرة أضعاف النسبة فى أول المدة ، وبأخذ متوسط القيمتين $(\frac{١٠ - ٤}{٢})$ تصبح الزيادة فى وقت التحول الكربونى $= \frac{١٠}{٥} = ٢٠٠$ سنة فى حالة الصيانة كل ١٠ سنوات .

وإذا كانت الصيانة كل ٢٠ سنة فإن نسبة الجزء غير المغطى تزداد إلى مائة ضعف فى نهاية مدة العشرين سنة ، وبأخذ متوسط القيمتين $(\frac{١٠ - ٣}{٢})$ تصبح الزيادة فى وقت التحول الكربونى $= \frac{١٠}{٥} = ٢٠$ سنة .

٣ - البديل الثالث :

الوقت الكلى اللازم لحدوث التدهور = ٤٠ سنة (لبلاطة ذات غطاء خرساني ١٥ مم وغير مغطاة بطبقة حامية) + ٢٠ سنة (صيانة للطبقة الحامية كل ٢٠ سنة) = ٦٠ سنة .

٤ - البديل الرابع :

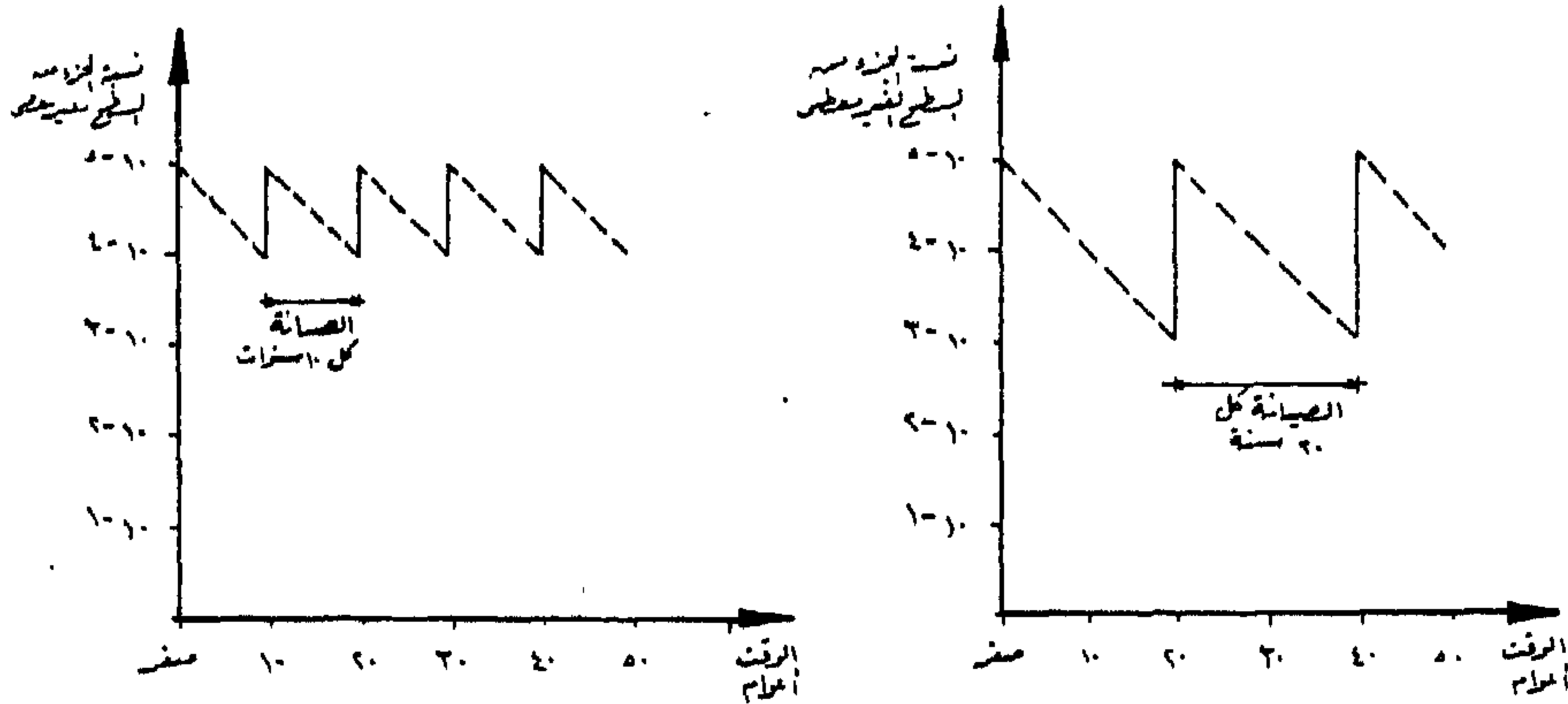
الوقت الكلى اللازم لحدوث التدهور = ٤٠ + ٢٠٠ = ٢٤٠ سنة .

حساب تكلفة الصيانة :

لحساب تكلفة الصيانة من معادلة (٧ - ١) فإن الأجزاء الثلاثة التى تتكون منها المعادلة يمكن حسابها كالاتى :

الجزء الأول (أ) :

التكلفة الاستثمارية لأعمال حماية المنشآت تصبح هى تكلفة إصلاح البلاطة الخرسانية + تكلفة طبقة الدهان إن وجدت .



شكل (٧ / ٣) نسبة طبقة الدهان المتآكلة (الجزء من السطح

غير المغطى بالدهان) كدالة فى الوقت

الجزء الثانى :

$$\frac{1}{n} = \frac{ص م}{(1 + ف) م} = \text{التكلفة الدورية لإدارة المبنى وصيانته} -$$

تصبح هى تكلفة صيانة طبقة ، الدهان (كل
٢٠ سنة للبديل الثالث وكل ١٠ سنوات للبديل
الرابع) .

الجزء الثالث :

$$\frac{1}{n} = \frac{\text{احتمال الانهيار} \times ح م}{(1 + ف) م} = \text{تكلفة أعمال الإصلاح} - \text{تصبح هى تكلفة}$$

أعمال الإصلاح فى الحالات التى لا يصل
فيها عمر البديل إلى ستين عاما (العمر
الافتراضى للمبنى كله) ، وذلك فى حالة
البديلين الأول والثالث .

ويعطى جدول (٧ / ١١) نتائج حساب تكلفة الصيانة للبدايل المختلفة مع الأخذ فى
الاعتبار الملاحظات الآتية على طريقة حساب الأجزاء للتكلفة :

١ - سطح البلاطة ١٠ م ٢ وتم حساب تكلفة إصلاحها كالاتى :

تكلفة إزالة الغطاء الخرسانى وتنظيف السطح ورش الخرسانة الجديدة بسمك ١,٥
سم = ٥٠ جنيها / م ٢ .

فتصبح تكلفة إصلاح البلاطة كلها = ٥٠٠ جنيه .

تكلفة زيادة الغطاء الخرسانى إلى ٣ سم = ١٠ جنيها / م ٢ .

فتصبح تكلفة زيادة الغطاء للبلاطة كلها = ١٠٠ جنيه .

٢ - تكلفة الدهان ٢٥ جنيها / م ٢ أى أن دهان البلاطة سيتكلف ٢٥٠ جنيها .

٣ - تكلفة الصيانة الدورية للبلاطة ٢٠ جنيها / م ٢ أى ٢٠٠ جنيه للبلاطة كلها وفى حالة

نسبة فائدة ٥ ٪ يمكن حساب الجزء الثانى من المعادلة (٧ - ١) كالتالى :

$$\frac{200}{60(1,05)} + \frac{200}{20(1,05)} + \frac{200}{10(1,05)} = \frac{\text{ص م}}{2(1+ف)} \quad \frac{1=م}{60}$$

(فى حالة الصيانة كل عشر سنوات:).

$$\frac{200}{11,47} + \frac{200}{7,04} + \frac{200}{4,3} + \frac{200}{2,65} + \frac{200}{1,63} = \frac{200}{18,68} = 301,4 \text{ جنيه}$$

$$\frac{200}{60(1,05)} + \frac{200}{40(1,05)} + \frac{200}{20(1,05)} = \frac{\text{ص م}}{2(1+ف)} \quad \frac{1=م}{60}$$

(فى حالة الصيانة كل ٢٠ سنة:).

$$114,75 \text{ جنيه} = \frac{200}{18,68} + \frac{200}{7,04} + \frac{200}{2,65}$$

٤ - تكلفة الإصلاح : وتحسب على أساس العمر التقديرى للبديل ، فالبديل الأول تم تقديره على أنه سيدوم لمدة ٤٠ سنة قبل حدوث تدهور ، وفى هذه الحالة فعند العمر الافتراضى للمبنى - بعد ٢٠ سنة أخرى - تكون البلاطة فى حاجة إلى استبدالها ببلاطة جديدة ، فإذا أخذنا تكلفة استبدال البلاطة كلها ببلاطة أخرى جديدة (ذلك يتكلف حوالى ١٠٠٠ جنيه مثلا) يمكن حساب تكلفة الإصلاح من المعادلة :

$$\frac{\text{احتمال الانهيار} \times 1000}{2(1+ف)} \quad \frac{1=م}{60}$$

واحتمالات الانهيار يمكن حسابها كل ١٠ سنوات مثلا لتبسيط الحسابات ، فاحتمال الانهيار من العمر صفر إلى العمر ١٠ سنوات = احتمال الانهيار عند العمر ١٠ سنوات مطروحاً منه احتمال الانهيار عند العمر صفر وهكذا .

وتعطى نظرية الاحتمالات قيم احتمالات الانهيار كالاتى - شكل (٢ / ٧) :

العمر (سنة)	صفر	١٠	٢٠	٣٠	٤٠	٥٠	٦٠
احتمال الانهيار	صفر	%٩	%٢٥	%٥٠	%٧٥	%٩١	%١٠٠

$$\frac{1000 \times (0,09 - 0) \text{ صفر}}{10(1,05)} = \frac{1000 \times \text{احتمال الانهيار}}{60(1 + f)} \quad \frac{1}{60} = m$$

$$\frac{1000 \times (0,25 - 0,09)}{30(1,05)} + \frac{1000 \times (0,09 - 0,25)}{20(1,05)} +$$

$$\frac{1000 \times (0,75 - 0,91)}{50(1,05)} + \frac{1000 \times (0,5 - 0,75)}{40(1,05)} +$$

$$+ \frac{1000 \times (1,91 - 1,0)}{60(1,05)} = 228,2 \text{ جنيها}$$

وبالنسبة للبديل الثانى فعمره التقديرى ٢٣٠ سنة وتحتسب تكلفة الإصلاح على أساس أن العمر الافتراضى مائتان وثلاثون سنة بدلا من ستين سنة ، وفى هذه الحالة تصبح تكلفة الإصلاح بسيطة جدا (عشرون جنيها) والبديل الرابع قريب من هذا (عمره الافتراضى ٢٤٠ سنة) .

أما بالنسبة للبديل الثالث فعمره الافتراضى ستون سنة أى أنه بعد هذا العمر سيكون هناك صدأ يستدعى إصلاحا جديدا يتكلف ٥٠٠ جنيه (نفس قيمة تكلفة الإصلاح الحالى) ، ثم تحسب تكلفة الإصلاح من نفس المعادلة ولكن بتكلفة إصلاح ٥٠٠ جنيه بدلا من ١٠٠٠ جنيه فيصبح ناتج الحساب ١١٤,١ جنيها .

ويتضح من جدول (٧ / ١١) أن أرخص البدائل من ناحية الصيانة هو البديل الثانى (غطاء خرسانى كبير وبدون دهان) ، ثم يليه البديل الأول (غطاء خرسانى صغير وبدون دهان) ولعل السبب فى ارتفاع تكلفة البديلين الثالث والرابع هو ارتفاع تكلفة الدهان فى هذا المثال .

البدائل	١	٢	٣	٤
أجزاء التكلفة	غطاء ١,٥ سم بدون دهان	غطاء ٣ سم بدون دهان	غطاء ١,٥ سم دهان وصيانة كل ٢٠ سنة	غطاء ١,٥ سم دهان وصيانة كل ١٠ سنوات
الجزء الأول : تكلفة إصلاح البلاطة تكلفة الدهان	٥٠٠ جنيه -	٦٠٠ -	٥٠٠ ٢٥٠	٥٠٠ ٢٥٠
الجزء الثانى : تكلفة الصيانة الدورية	-	-	١١٤,٧٥	٣٠١,٤
الجزء الثالث : تكلفة الإصلاح	٢٢٨,٢	٢٠	١١٤,١	٢٠
إجمالى التكلفة	١٠٠٠ جنيه	٦٢٠	٩٧٨,٨٥	١٠٧١,٤

جدول (١١ / ٧) تكلفة صيانة بلاطة بلكونة (٢م ١٠) مع مقارنة البدائل المختلفة

٣ / ٥ - مواصفات أعمال الصيانة :

توجد بعض المواصفات فى الدول المختلفة وأخرى منشورة عن طريق المؤسسات الدولية المعنية والتي تحدد الفحص والصيانة المطلوبة للمباني والكبارى وبعض المنشآت الخاصة ، ولكن لا توجد مواصفات شاملة للصيانة حتى الآن فى مصر ، وينبغى التنبيه إلى أن صياغة مواصفات للصيانة يجب أن ينبع من الظروف المحلية ولا يتبع الخطوات الموجودة فى المواصفات الأجنبية ؛ لأن مواصفات الصيانة ينبغى أن تأخذ فى اعتبارها ما يلى :

١ - العادات المحلية وأسلوب المعيشة .

٢ - الأساليب المنتشرة فى السوق المحلى .

٣ - الظروف الجوية المحلية .

٤ - المسؤولية القانونية عن الصيانة وإصلاح المبنى .

ومن الصعب التوصل إلى قواعد أو مواصفات تعتبر مواصفات قياسية لكل الحالات ،
ومن المفيد إشراك الملاك والمهندسين الاستشاريين في عمل مواصفات لصيانة المباني ،
لتصبح مواصفات قومية ملزمة بعد إقرارها من السلطة التشريعية ، وذلك للحفاظ على
الثروة العقارية .

٤ - حماية المنشآت الخرسانية.

إن حماية المنشآت الخرسانية ضد العوامل التي تعمل على تدهور الخرسانة ، وتقلل العمر الافتراضي للمبنى لن تعمل فقط على الحفاظ على المبنى سليماً وخالياً من العيوب ، وإنما ستعمل كذلك على ألا يحتاج المبنى إلى إصلاحات كبيرة أثناء عمره الافتراضي .
وأعمال الحماية تشمل حماية أسطح الخرسانة ضد الاختراق بالمواد الضارة ، وحماية صلب التسليح ضد الصدأ ، وعزل الأسطح ضد تسرب الرطوبة .

٤ / ١ - حماية الأسطح الخرسانية :

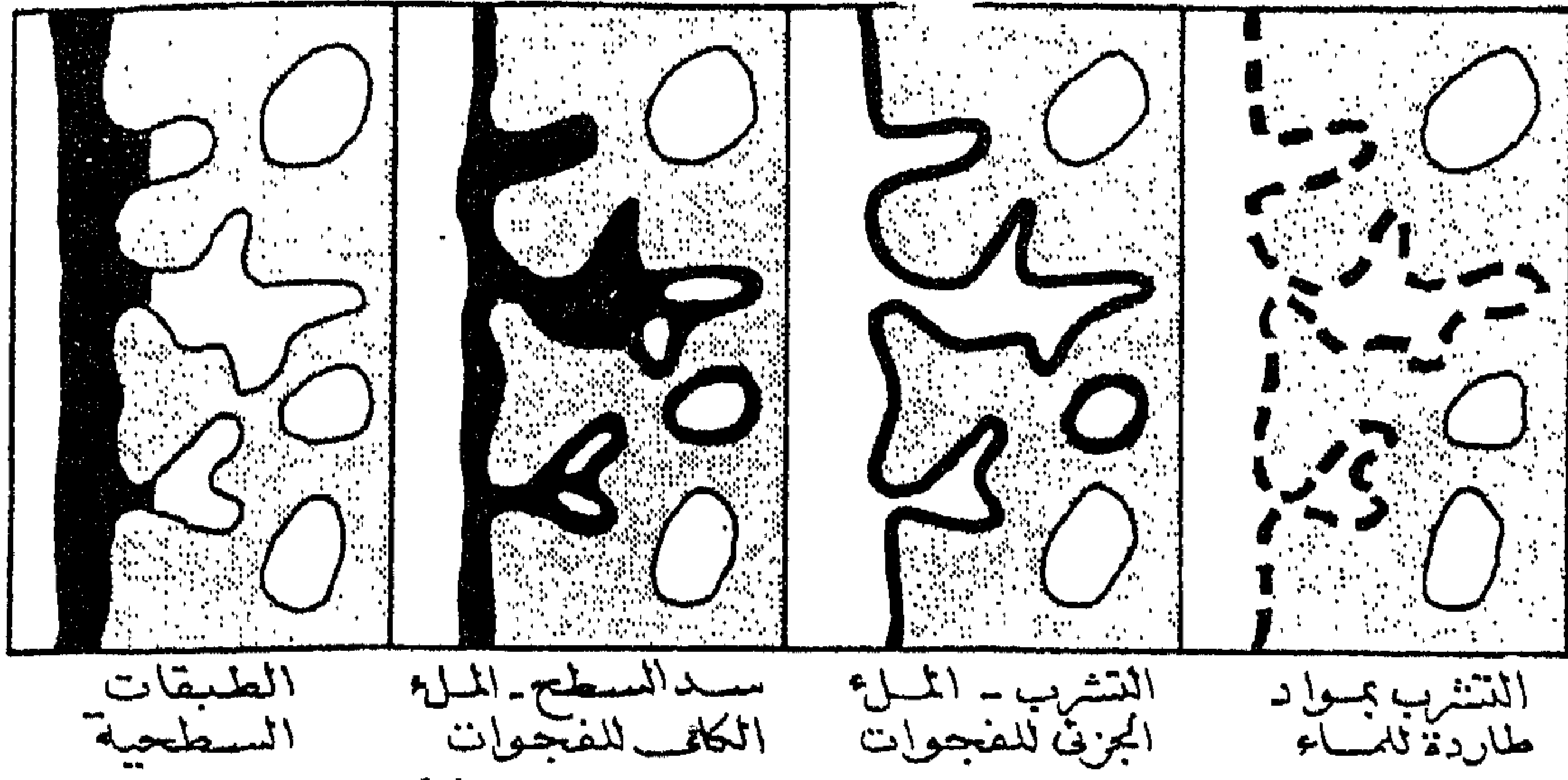
٤ / ١ / ١ - أنواع حماية الأسطح :

هناك أنواع عديدة لحماية الأسطح يمكن تقسيمها إلى - شكل (٧ / ٤) - :

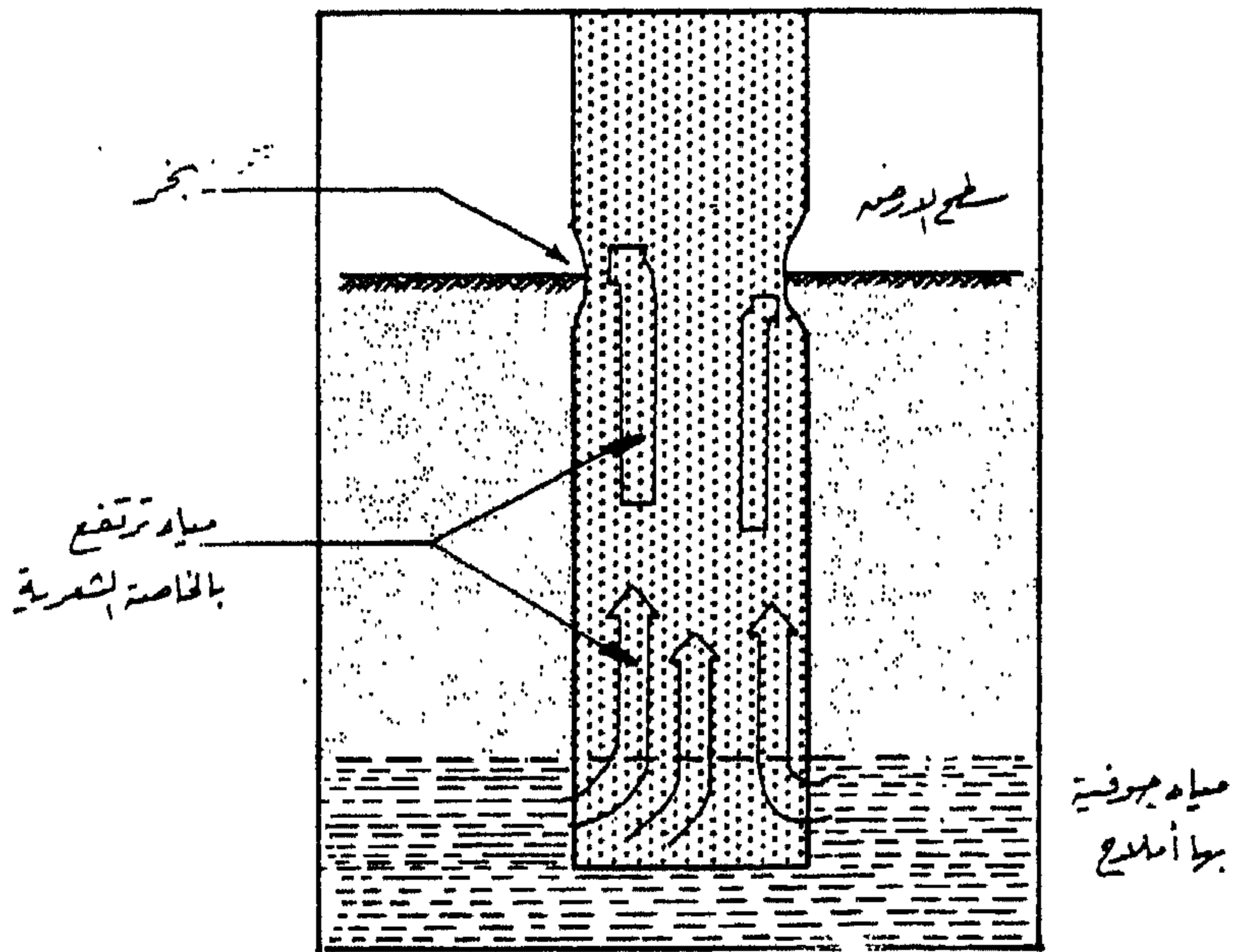
- ١ - التشرب بمواد طاردة للماء .
- ٢ - التشرب - الملء الجزئي للفجوات السطحية .
- ٣ - سد الأسطح - الملء الكلي للفجوات السطحية بالدهان أو الرش .
- ٤ - الطبقات السطحية .

وفي حالة التشرب بمواد طاردة للماء فإن جدران الفجوات السطحية تغطي بمواد طاردة للماء (water - repellent agents) ولا يتم ملء الفجوات ، والتشرب عموماً يحدث عن طريق امتصاص الخرسانة للمادة الطاردة للماء ، ويساعد على الامتصاص تجفيف سطح الخرسانة أولاً من الرطوبة ، وهذه الطريقة لا تؤثر بطريقة فعالة في انتقال بخار الماء وإن كانت تؤثر بشدة في خفض امتصاص الماء .

أما في حالة ملء الفجوات السطحية فإن المادة المائلة تتغلغل في سطح الخرسانة فيتشربها نتيجة قدرة الخرسانة على الامتصاص ، وتزيد هذه القدرة بتجفيف السطح أولاً أو تفريغ الهواء حول العضو أو هما معاً ، ويتم الحماية عندما يتم ملء الفجوات السطحية كلها بتشرب مادة الدهان ، فتسمى هذه العملية سد الفجوات السطحية .



شكل (٧ / ٤) أنواع الحماية السطحية



شكل (٧ / ٥) امتصاص المياه الجوفية وتبخرها عند سطح الأرض مع ترسيب الأملاح

وهناك طريقة أخرى لا تعتمد على تشرب السطح بمواد الحماية وهي عمل طبقات سطحية ، وتقسم هذه الطبقات حسب سمكها إلى - جدول (١٢ / ٧) - :

- ١ - طبقات رقيقة - ذات سمك أقل من ٠,١ مم .
 - ٢ - طبقات سميكة - ذات سمك من ٠,١ إلى ٠,٥ مم .
 - ٣ - البياض بمواد ذات أساس عضوى أو غير عضوى - بسمك من ٠,٥ مم إلى ٥ مم .
 - ٤ - الأغشية البوليمرية الجاهزة (polymer membranes) التى لا تلتصق بالخرسانة .
 - ٥ - التغطية بالمواد المطاطة .
 - ٦ - ألواح من البلاستيك أو الصلب الذى لا يصدأ أو مواد أخرى .
 - ٧ - التبييط ببلاطات مقاومة للمواد الضارة بالخرسانة .
- ٥ / ١ / ٢ - لماذا نحمى سطح الخرسانة ؟ :

حماية أسطح الخرسانة تتم لعدة أسباب ، منها :

- ١ - منع مزيد من تغلغل الكلوريدات كما فى الأعضاء المعرضة لموج البحر أو فى بلاطات الأرضيات المعرضة لأملح إذابة الجليد .
- ٢ - منع تقدم التحول الكربونى فى الأجزاء التى لم يتم إصلاحها أو لمنع حدوث تحول كربونى لمونة الإصلاح .
- ٣ - إبطاء معدل صدأ الحديد ، وفى بعض الحالات لا تمنع أعمال الإصلاح الصدأ من الاستمرار فى الحدوث فى كل أجزاء المنشأ ، وفى هذه الحالات فإن بقاء معدل الصدأ عن طريق حماية الأسطح هو الحل ، فحماية الأسطح يمكن أن تنقص محتوى الرطوبة بالخرسانة أو تمنع تغلغل الأوكسجين .
- ٤ - منع التدهور نتيجة أملاح إذابة الجليد - بلاطات الطرق .
- ٥ - منع تدهور الخرسانة عند سطح الأرض نتيجة امتصاص المياه بالخاصية الشعرية ، ثم انتقاله إلى أعلى حيث يتبخر عند سطح الأرض تاركاً الأملاح على سطح الخرسانة - شكل (٥ / ٧) - هذه الأملاح تكون محاليل مركزة والضغط الهيدروليكى

طريقة حماية السطح	تأثيرها	حالة السطح
التسرب بمواد طاردة	طاردة للماء - يمكن نفاذ بخار الماء غير مقاومة للكيماويات	فجوات صغيرة
سد الفجوات السطحية	تقلل امتصاص الماء - تزيد المقاومة للماء وبخار الماء - غير مقاومة للكيماويات	فجوات صغيرة
الطبقات الرفيعة حتى ١ مم	تمنع تسرب الماء أو بخار الماء - حساسة للأحمال الميكانيكية - مقاومة محدودة للحرارة والكيماويات	سطح أملس خالي من الشروخ والفجوات الكبيرة
الطبقات السميكة حتى ٥,٠ مم	تمنع تسرب الماء أو بخار الماء - مقاومتها للحرارة والكيماويات أكثر من الطبقات الرفيعة	سطح أملس يمكن أن يكون به شروخ رفيعة
للبياض بمواد غير عضوية	منع معقول لتسرب الماء - يمكن نفاذ بخار الماء - غير مقاومة للكيماويات (إلا أنواع خاصة)	خالي من الفجوات الكبيرة مثل التشعشيش وفقاعات الهواء ، يمكن أن يكون به شروخ رفيعة غير متحركة
البياض بمواد عضوية	تمنع تسرب الماء وبخار الماء - مقاومة الكيماويات مقاومة أقل للأحمال الميكانيكية	خالي من الفجوات الكبيرة يمكن أن يكون به شروخ رفيعة غير متحركة
الأغشية الرقيقة	تمنع تسرب الماء وبخار الماء - تقاوم الكيماويات مقاومة أقل للأحمال الميكانيكية	أسطح ملساء - يسمح بشروخ حتى عرض ٣ مم
التغطية بمواد مطاطة	تمنع تسرب الماء وبخار الماء - تقاوم الكيماويات والحرارة والأحمال الميكانيكية	أسطح ملساء
التغطية بالواح من الثيرموبلاست	تمنع تسرب الماء وبخار الماء - تقاوم الكيماويات والحرارة والأحمال الميكانيكية	أسطح ملساء
التبليط	المقاومة تعتمد على نوع البلاط والمادة اللاصقة ومادة ملء الفواصل	أسطح ملساء

جدول (١٢ / ٧) أنواع حماية الأسطح وخواصها

الناشئ من هذا التركيز يؤدي إلى تدهور الخرسانة كما يحدث في حالة أملاح إذابة الجليد - انظر قسم (٣ / ١ / ٣) من الباب الثالث - وتسمى هذه الظاهرة التملح الجوى (Salt weathering) ، وتنتشر في الخرسانات بالمناطق الساحلية الصحراوية مثل الخليج العربى أو بالمنشآت البحرية المعرضة للأمواج .

٦ - منع مزيد من تمدد الخرسانة المتصلة بالكبريتات - خارجية - أو الخرسانة التى تم « معالجتها بالبخار - داخلية .

٧ - منع مزيد من التدهور الناشئ عن حامض الكبريتيك فى منشآت المجارى .

٨ - منع تدهور خرسانات المصانع المحتوية على كيماويات ضارة بالخرسانة .

٩ - أسباب خاصة بمظهر الخرسانة .

٤ / ١ / ٣ - كيف نحمى سطح الخرسانة ؟ :

إذا حددنا لماذا نريد حماية سطح الخرسانة فى حالة ما - سبب أو أكثر من الأسباب السابقة - فىمكن عندئذ اختبار أسلوب الحماية ، وبوجه عام فهناك مبدئان أساسيان فى عملية الحماية :

١ - المحافظة على الخرسانة جافة ، فبدون ماء لن يحدث تدهور ، وترجمة هذا المبدأ عمليا يكون بمنع امتصاص الخرسانة للماء ، وينطبق هذا المبدأ على :

منع امتصاص المياه المحتوية على كلوريدات فى الأعضاء المعرضة للأمواج - تخفيض معدل صدأ الخرسانة التى حدث لها تحول كربونى - منع تدهور الخرسانة نتيجة أملاح إذابة الجليد - منع التدهور السطحي ترسب الأملاح - تقليل التدهور نتيجة الكبريتات الداخلية .

٢ - منع اتصال الخرسانة بالمواد الضارة ، وينطبق هذا المبدأ على :

التحول الكربونى - هجوم الكبريتات الخارجية - هجوم الأحماض والمواد الضارة .

وبالنسبة للمبدأ الأول فكل طرق الحماية المذكورة فى جدول (٧ / ١٢) يمكن استخدامها ما عدا الطريقة الأخيرة - التبليط - أما بالنسبة للمبدأ الثانى فالطريقة الأولى

فى جدول (١٢ / ٧) لا تصلح ، ويمكن اختيار أى من الطرق الأخرى حسب الحالة .

٤ / ١ / ٤ - تحمل طريقة الحماية مع الزمن (Durability of protection) :

من المهم تحديد قدرة طرق الحماية المختلفة على التحمل ومقاومة العوامل الضارة ، والقدرة على التحمل قد تتأثر بعوامل خارجية تهاجم المادة المستخدمة فى الحماية كالمياه السريعة والضوء والأكسدة ... إلخ ، ومن أهم العوامل التى تؤثر على عمر الحماية هو العلاقة المتبادلة (interaction) بين سطح الخرسانة « القديمة » وبين مونة الإصلاح والحماية « الجديدة » .

فعندما تكون الحماية عن طريق بياض السطح بطبقة كثيفة (Very dense) كما فى حالة الطبقات غير المنفذة ، فإنه يمكن أن تتراكم الرطوبة (نتيجة خروج بخار الماء من الخرسانة) مما يجعل الخرسانة معرضة للضرر نتيجة الصقيع فى حالة الأسطح المعرضة لدورات التجمد والذوبان أما عندما يكون سطح مادة الحماية محتويا على مواد قابلة للذوبان فى الماء فإن الضغط الأسموزى سيؤدى إلى حدوث البثور والفجوات .

ولتفادى هذه المشاكل فقد اقترح أحد الباحثين حدودا عليا لمعامل امتصاص الماء لطبقات الحماية ومعامل مقاومة انتشار بخارها كالتالى (٩) :

معامل امتصاص الماء : مص $\geq 0,5$ كجم / ($\sqrt{2}$ س) حيث : س : سمك طبقة الحماية .

مقاومة انتشار بخار الماء م . أ ≥ 2 م .

أى أم مص \times م . أ $\geq 1,0$ كجم / ($\sqrt{2}$ م س) .

ووضع هذه الحدود فى تعبير عملى يقتضى أن طبقة الحماية يجب ألا تسمح بامتصاص الماء ، ولكنها فى نفس الوقت يجب أن تسمح بخروج الماء من الخرسانة ، وشكل (٦ / ٧) يوضح أن كثيرا من مواد الحماية الموجودة تفى بهذا الشرط ، وأفضلها المواد الطاردة للماء ، وأقلها مواد سد السطح والتغطية بطبقات سميكة .

وتفادى المشاكل مع استخدام السد السطحي أو التغطيات غير المنفذة ممكن بطريقة أخرى وهى تجفيف سطح الخرسانة قبل حمايته ، وإن كان ذلك ليس حلا عمليا فى غالب

الأحيان ، وخطر دورات التجميد والذوبان على المياه المتكثفة أسفل التغطيات غير المنفذة يمكن تقليله باستخدام التغطية بطبقات سميكة من البياض بدلا من الطبقات الرفيعة حيث سيقبل معدل التكثيف ومن ثم القابلية للتجمد .

وهناك جانب هام عند دراسة مشكلة تحمل طبقات الحماية مع الزمن وهو تماسك هذه الطبقات مع سطح الخرسانة القديمة ، فحتى إذا ما تم إعداد سطح الخرسانة جيدا فإن سطح اتصال طبقة الحماية مع الخرسانة القديمة سيظل غير حصين ومعرضا للهجوم ، أما إذا لم يتم إعداد سطح الخرسانة جيدا فإن الخرسانة القديمة ستصبح هي نقطة الضعف رغم تغطيتها بطبقة حامية ، والإجهادات المؤدية إلى انفصال طبقات الحماية عن الخرسانة غالبا ما تكون مرتبطة بالحرارة ؛ لأن فارق درجات الحرارة بين الجو الخارجى والخرسانة المغطاة سيؤدى إلى قوى انفصالية عمودية على السطح ، بالإضافة إلى قوى قص نتيجة فارق التمدد بين الخرسانة وطبقات الحماية لاختلاف معامل تمددها .

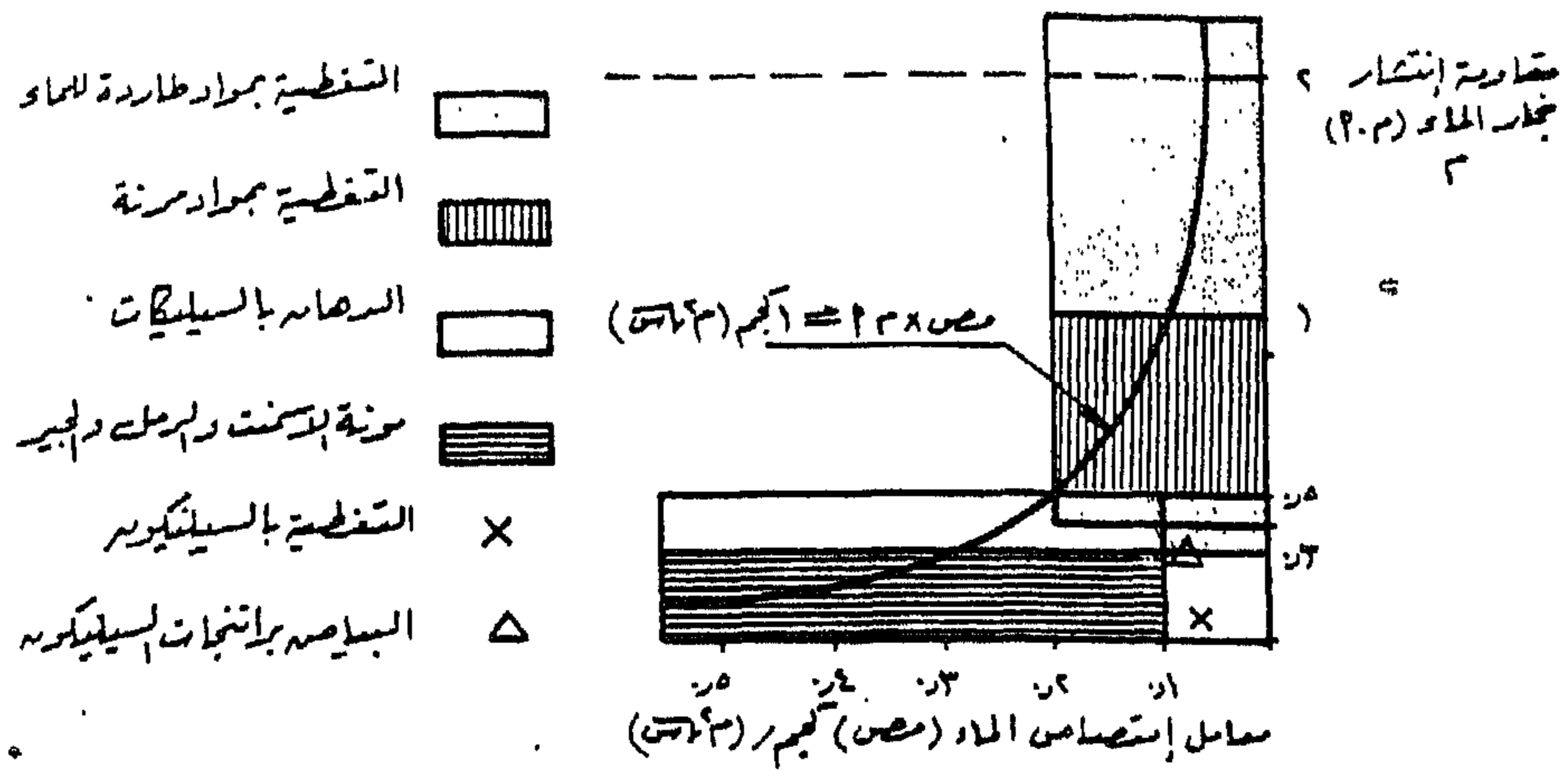
والإجهادات الحرارية (σ) يمكن حسابها من المعادلة :

$$\sigma = E \cdot \alpha (\Delta t)$$

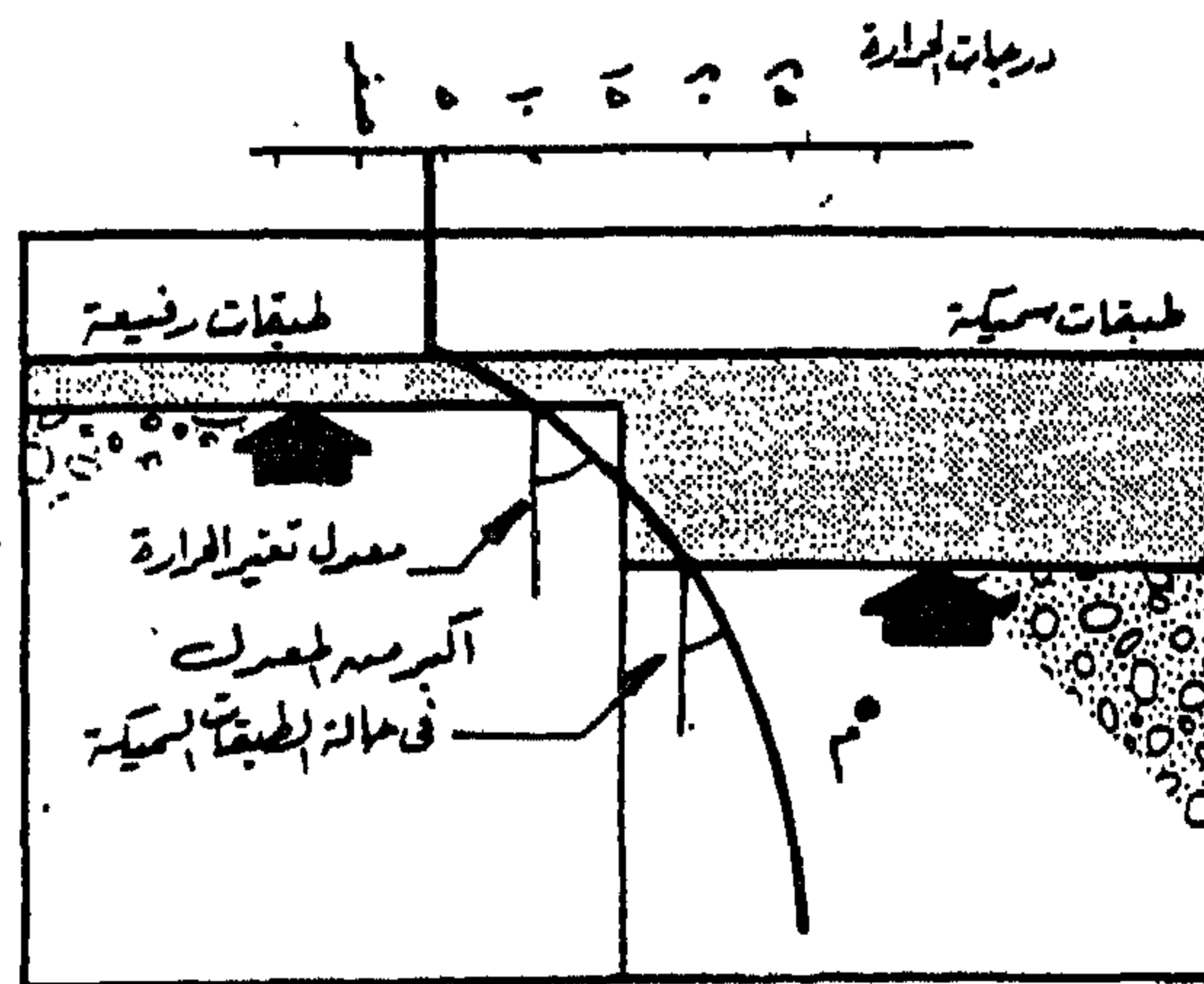
حيث (E) معاير المرونة ، (α) معامل التمدد الحرارى ، (Δt) فرق الحرارة بين الطبقات السطحية والخرسانة الداخلية .

وفى حالة التغطية بطبقات رفيعة يكون فرق الحرارة عدة درجات ويصل إلى أكثر من عشرة درجات عند استخدام الطبقات السميكة ، ولكن معدل التغير عند سطح الاتصال أكبر فى حالة الطبقات الرفيعة من الطبقات السميكة ، كما يظهر من شكل (٧ / ٧) .

وكمثال للإجهادات الحرارية المسببة لانفصال طبقات الحماية نأخذ حالة طبقة حماية ذات مقاومة للقص تساوى ٤٠ كجم / سم^٢ عند سطح اتصالها بالخرسانة ، فإذا كانت قيمة ($E \cdot \alpha$) تساوى ٢ كجم / سم^٢ مثلا فإن فرق درجات حرارة مقداره عشرون درجة سيؤدى إلى حدوث انفصال - انهيار القص - وكمثال على تغير معامل التمدد الحرارى لمواد الحماية بتغير مكوناتها نأخذ حالة المونة الأيوكسيد المكونة من المادة اللاصقة (Resin) والمادة المألثة (Filler) وتأثير تغير النسبة بينهما على معامل التمدد الحرارى - كما يظهر من جدول (١٣ / ٧) - حيث (ك) معامل أقل من الواحد يعتمد على درجة



شكل (٦ / ٧) العلاقة بين الامتصاص ومقاومة انتشار البخار لمواد الحماية المختلفة (٩)



شكل (٧ / ٧) معدل تغير درجات الحرارة في حالة الطبقات السميكة والرقيقة

إعداد السطح ويقل كلما كان الإعداد سيئا ، فإذا كانت مقاومة القص في حدود ٤٠ كجم / سم ٢ فإن العناية بإعداد السطح تصبح هامة لعدم حدوث انهيار قص عند سطح التماسك ، حيث إن فرق درجة حرارة مقدارة ١٠ م يمكن أن يؤدي إلى ذلك إذا كانت (ك) أقل من الواحد كثيراً .

وهناك جانب هام آخر يؤثر على حماية الأسطح الخرسانية وهو وجود شروخ بها ، فإذا كانت هذه الشروخ ثابتة ولا تزيد بمرور الوقت فيمكن ملؤها قبل عمل الحماية المطلوبة ، أما إذا كانت شروخا متحركة فمعظم وسائل الحماية تصبح غير قادرة على تغطيتها تغطية فعالة ما عدا المواد المطاطة أو طبقات الخرسانة ذات الألياف (Fiber reinforced coatings) .

كما أنه من المهم أن تكون مواد التغطية قادرة على مقاومة البيئة الخرسانية ذات القاعدية العالية ، ومن أمثلة المواد التي كانت تستخدم كمواد لاحمة وهي غير مقاومة لقاعدية الخرسانة اسيتات البولي فينيل (PVAC) .

الخرسانة	١٥ : ١ % ٦,٢٥	٩ : ١ % ١٠	٣ : ١ % ٢٥	النسبة المثوية للمادة اللاحمة	إنتاجات فقط % ١٠٠
٣٥٠ - ٢١٠	٣٣٥	٢٥٠	٩٧	٢٩	معيار المرونة (E)
١١	١٥	١٩	٢٩	٦٩	(طن / سم ٢) معامل التمدد الحرارى (α) ١٠ - ٦ / ك . α . E
٣,٩ - ٢,٣	٥,٠	٤,٨	٢,٨	٢,١	(كجم / سم ٢ / ك)

ك : معامل أقل من الواحد يعتمد على درجة إعداد السطح

جدول (٧ / ١٣) تأثير نسبة المادة اللاحمة : المادة المائلة لمونة الإيوكسى

على معامل التمدد الحرارى

واللتحام معظم الطبقات السطحية مع الخرسانة ليس نتيجة رباط كيميائي ، وإنما نتيجة قوى « فان دير فان » والتماسك الميكانيكي عن طريق الفجوات السطحية ، وعادة ما يكون الالتحام أضعف في ظل الظروف الرطبة عن الالتحام في ظل الظروف الجافة .

وفي بعض الأحيان يكون مطلوب من طبقات الحماية أن تسمح لسطح الخرسانة (بالتنفس) لمنع تراكم الضغط تحت هذه الطبقات نتيجة الماء أو بخاره ، وتحمل طبقات الحماية للضغط ضروري في حالة عمل طبقات حماية وتغطية لخرسانة الخزانات والأنفاق حيث تصبح طبقات الحماية معرضة لضغط هيدروليكي ، ولكن قوى الشد المتولدة ليست كبيرة ، فعلى عمق عشرة أمتار تحت سطح الماء تصل قوى الشد القصوى عند سطح التلاحم الخرسانة مع الطبقة السطحية إلى ١,٠ كجم / سم^٢ وضغط الماء لن يصل إلى أعلى من هذه القيمة في الظروف الطبيعية لأن هذا هو ضغط الماء المغلي ، وفي حالة استعمال طبقة من الايوكسي فالمعتاد أن يكون المطلوب أن تصل قوة الالتصاق إلى ١٠ - ١٥ كجم / سم^٢ ، ولذلك فعند إجهاد حوالي ١,٠ كجم / سم^٢ فمعظم التغطيات ستصرف بطريقة مرنة تماما والانهيال نتيجة مثل هذه الإجهادات غير محتمل .

٤ / ١ / ٥ - متطلبات خاصة :

- إذا كانت الخرسانة معرضة للتحويل الكربوني فيستحسن استعمال طبقات حماية لا يقل معامل مقاومة انتشار ثاني أكسيد الكربون بها (م . أ) عن ٥٠ م .

- إذا كانت الخرسانة معرضة لحامض الكبريتيك (مثل منشآت المجارى) فيجب حماية الخرسانة تماما بأغشية غير منفذة للسوائل ، واستعمال الطبقات السطحية - سميكة أو رقيقة - أثبت عدم فعاليته رغم أن طبقة الحماية نفسها تقاوم حامض الكبريتيك ؛ لأن حدوث عيوب صغيرة في طبقة الحماية يؤدي إلى ضعف فعاليتها وتكون الفجوات السطحية - انظر شكل (٧ / ٨) .

- في حالة الحاجة إلى طبقات حماية فعالة وتحمل طويلا فيمكن استخدام المونة البوليمرية (Polymar mortar) غير المنفذة للبخار أو الغاز ، ويجب أن يكون سلك المونة عدة ملليمترات ، ويجب أن يكون الغطاء الخارجي لها كثيفا جدا ، ورغم ذلك فقد تحدث مشاكل عند الوصلات ، والبديل الآخر هو تغطية سطح الخرسانة بألواح من مادة تتحمل العوامل الضارة مثل كلوريد البولي فينيل والبولي بروبيلين .

- فى حالة عدم القدرة على إزالة كل الخرسانة المعيبة - المحتوية على كلوريدات أو التى حدث لها تحول كربونى - من الأماكن الملاصقة لأسياخ التسليح فلا بد من استعمال طبقة حماية تقلل إلى حد كبير من معدل الصدأ عن طريق قطع الطريق على تغلغل الأكسجين ، وهذه الطبقة يجب أن تكون كثيفة جدا وبدون عيوب سطحية ، وشكل (٧ / ٩) يوضح أن المادة التى تستخدم فى هذه الطبقة يجب أن تصل مقاومتها لانتشار الأكسجين (م . ٤) إلى ٤٠٠٠ متر لتقلل معدل الصدأ إلى المستوى المقبول (٠,٢ م / سنة) ، ويجب تغطية كل أسطح الخرسانة بهذه الطبقة ، ويلاحظ أنه سترتب على تغطية سطح الخرسانة بطبقة كثيفة جدا زيادة الرطوبة تحت هذه الطبقة مباشرة ، وهذه الرطوبة ستزيد مقاومة الخرسانة لانتشار الأكسجين زيادة كبيرة .

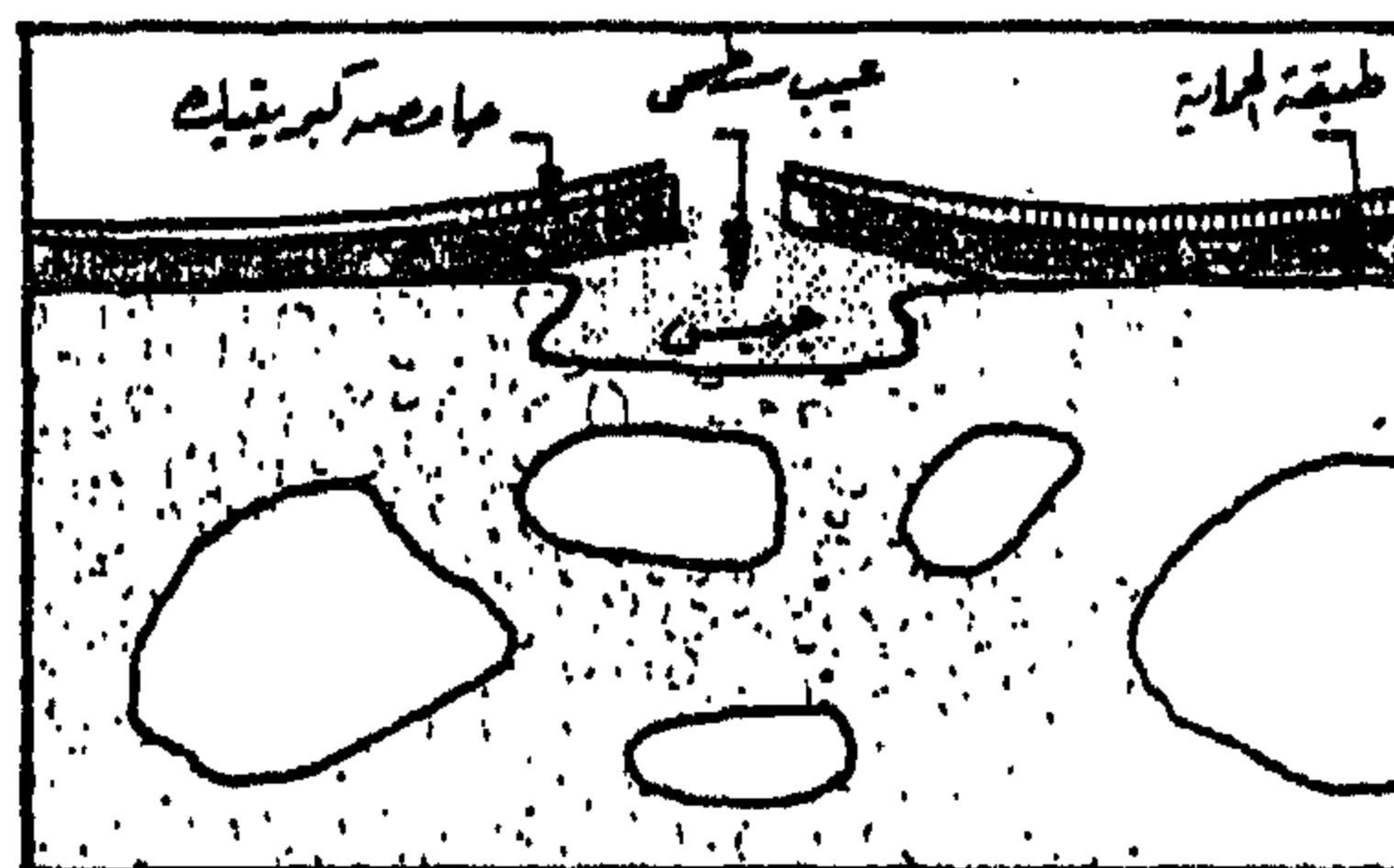
٤ / ١ / ٦ - أنواع المواد المستخدمة فى حماية الأسطح :

راجع قسم (٦ / ٤ / ٣) من الباب السادس .

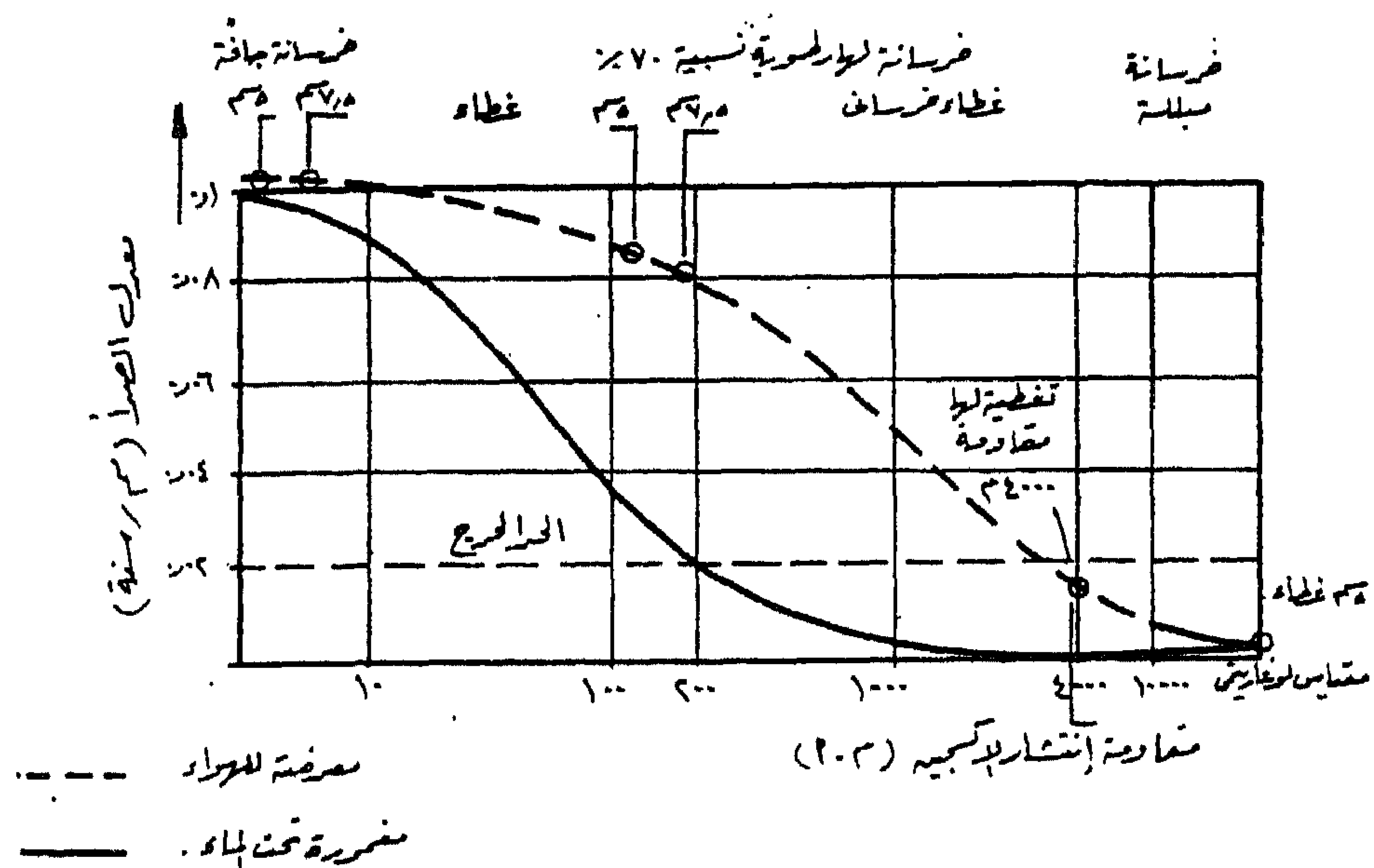
٤ / ٢ - عزل الأسطح ضد الرطوبة :

إن تسرب المياه من الخارج إلى داخل المنشآت الخرسانية - البدرومات والأسقف الأخيرة - أو من الداخل إلى الخارج - الخزانات وحمامات السباحة - تسبب مشاكل كثيرة ليست قاصرة على الشكل الخارجى للمنشأ وعدم أداء الوظيفة التى صمم من أجلها بكفاءة فقط ، وإنما تتعداها إلى تدهور فى الأعضاء الخرسانية المعرضة للرطوبة بسبب صدأ الحديد وحدوث شروخ وميل بسبب الهبوط غير المتساوى للأرض نتيجة حركة المياه ، ومحصلة ذلك هو عدم أداء المبنى لوظيفته بشكل جيد ونقص عمره الافتراضى بدرجة كبيرة .

وتتراوح مشكلة عزل المياه من وجود آثار رطوبة على الجوانب إلى وجود تسرب كبير للمياه إلى داخل المنشأ أو إلى خارجه ، وقد يكون ضغط المياه كبيرا وقد يكون التسرب لمياه ليست تحت ضغط يذكر ، والسبب الرئيسى لهذه المشكلة فى أغلب الحالات هو عدم دملك الخرسانة جيدا ، فلا تصبح خرسانة كثيفة تمنع مرور المياه ، ولكن هناك أسباب كثيرة أخرى منها وجود شروخ بالخرسانة وقصور التصميم والتفاصيل الإنشائية ، وسوء تنفيذ الفواصل .



شكل (٧ / ٨) حدوث فجوات بطيقة الحماية نتيجة هجوم حامض الكبريتيك من أماكن العيوب السطحية



شكل (٧ / ٩) معدل الصدا في مقاومة انتشار الأكسجين

وحل المشكلة يتناسب مع حجمها ، فلا يقف تسرب كبير من المياه فى مكان ما لا بد من قطع وإزالة الخرسانة المعيبة التى تتسرب منها المياه واستبدالها بخرسانة جيدة ، والسد الأخير للتسرب عادة ما يتم بمادة تتصلد بسرعة ، أما فى حالة وجود آثار رطوبة فعلاجه يكون بعمل طبقة تغطية للمنطقة كلها لمنع تغلغل المياه ، وفى كثير من الحالات نجد أن من الضرورى المزج بين هذين الحلين .

وهناك حل مرادف يصلح فى بعض الحالات وهو حقن المونة تحت ضغط فى التربة المحيطة بمبنى تحت سطح الأرض من أجل الوصول إلى طبقة غير منفذة للماء فى التربة المحيطة بالجزء المدفون ، وهذه الطريقة مكلفة ولا تستعمل إلا فى حالة عزل المنشآت الهامة المعرضة لمياه ذات عمق كبير مثل الأنفاق .

ويمكن حقن الخرسانة نفسها كبديل عن قطعها واستبدالها ، وفى هذه الحالة يستعمل الحقن بالايوكسى لسد الفجوات المؤدية إلى تسرب المياه ، ولكن نجاح عملية الحقن يعتمد على اتصال هذه الفجوات الموجودة داخل الخرسانة حتى يمكن ملؤها جميعا بمادة الحقن .

وفى حالة عزل الأسطح ضد الرطوبة يجب تحديد الأماكن التى تتسرب منها المياه بدقة ، وقد يستدعى هذا نزع المياه وإزالة البياض وبعض المباني للكشف ، ثم إنه بعد سد الأماكن التى تتسرب منها المياه فلا بد من متابعة وملاحظة الموقف لعدة أسابيع ليس فقط للتأكد من سلامة العزل فى الأماكن التى تم سدها وإنما لأن المياه قد تجد لنفسها مسارات جديدة فى أماكن ضعيفة ويحدث تسرب جديد فى بعض الأحيان بعد عدة أسابيع ، ولذا يجب أن يقوم بعمل العزل فى المنشآت تحت الأرض والخزانات وما إليها مقاول متخصص له خبرة فى هذه الأعمال .

٤ / ٢ / ١ - معالجة التسرب من أماكن محددة :

إن خطوات التعامل مع مشكلة تسرب كبير من المياه هى :

أولاً : افحص جيدا كل الخرسانة المحيطة بمنطقة التسرب ، وقم بإزالة الخرسانة المتفذة للماء بدرجة كبيرة والتى تسمح بمرور المياه خلالها بسهولة ، ولا معنى لسد أى فجوات أو ثقب موجودة فقط إذا كان الماء يستطيع أن يمر بسهولة من الخرسانة المجاورة للفجوة أو الثقب .

ثانيا : إذا كان حجم الماء المتسرب كبيرا فعادة يصبح من الضروري تخفيف ضغط الماء ، بتركيب ماسورة فى الثقب الذى يتسرب منه الماء ، حتى يمكن أن يستمر سريان الماء بحرية بدون ضغط على عملية سد التسرب ، وإذا كانت هناك عدة أماكن تسرب متجاورة ، كما هو الحال مثلا فى حالة فاصل تمدد سيئ ، فإن تركيب عدة مواسير على مسافات يمكن أن يخفف الضغط ، بحيث تصبح عملية سد ثقب التسرب أسهل - أشكال (١٠ / ٧) إلى (١٣ / ٧) .

ثالثا : يتم استبدال الخرسانة المعيبة بخرسانة جيدة ويتم سد ثقب تسرب المياه ، وبعد تصلد مواد الإصلاح يمكن قطع مواسير تخفيف الضغط أو إزالتها وسد الثقب مكانها بمواد سريعة التصلد جدا ، بحيث يمكن وضعها وتثبيتها فى مكانها باليد حتى يتم تصلدها .

رابعا : لحماية أسطح المنطقة المجاورة لمنطقة التسرب بإحدى طرق الحماية المذكورة فى القسم السابق (١ / ٤) .

وفى حالات الطوارئ يمكن الحصول على خليط سريع التصلد من المواد المتوفرة ، فمثلا إذا تم عمل عجينة من أسمنت بورتلاندى نقى مع محلول صودا الغسيل - كربونات الصوديوم - فإن هذه العجينة سيحدث لها شك لحظى (Flash set) ، ويتم تحديد درجة تركيز محلول الصودا اللازمة للحصول على وقت شك وتصلد معين بالتجربة قبل محاولة سد مكان التسرب ، وذلك لأن الأنواع المختلفة من الأسمنت تتأثر بالصودا بدرجات مختلفة .

ولكن معجلات الشك التى تضاف للخرسانة للإسراع بزمن الشك لا تؤثر بدرجة كافية على سرعة شك مونة الأسمنت والرمل ، ولا يوصى باستخدامها للوصول إلى شك سريع ، وإنما يمكن لخليط من الأسمنت العادى وعالى المقاومة أن يكون له شك لحظى ، وفى هذه الحالة أيضا يتم تحديد نسب الخلط بالمحاولة والخطأ ، لأن أنواع الأسمنتات المختلفة لها نسب مختلفة للحصول على زمن شك معين ، وعندما يلزم الأمر اللجوء إلى أى من هذه الوسائل فلا بد من الأخذ فى الاعتبار أن المادة الجديدة المتصلدة قد تمنع التسرب للحد منه إلى حين عمل الإصلاح الدائم للمنطقة التى حدث بها تسرب عن طريق الخطوات الأربعة المذكورة أعلاه .



شكل (٧ / ١٠) الماء يتدفق من فتحة في حائط خرساني بغرفة طلّميات



شكل (٧ / ١١) تركيب ماسورة تخفيف ضغط الماء بمونة سريعة التصلد



شكل (٧ / ١٢) الماء يتدفق من ماسورة تخفيف الضغط بدلا من الفتحة



شكل (٧ / ١٣) إصلاح تسرب الماء من الفتحة ولم تُزال مواسير تخفيف الضغط بعد

٤ / ٢ / ٢ - معالجة الأماكن الرطبة :

عندما تكون المشكلة ظهور رطوبة على أسطح الحوائط أو الأسقف في مساحة غير صغيرة فإن الحل يكون بعمل معالجة لسطح الحائط أو السقف كله لتقليل النفاذية العالية له ، ومن الضروري أن تمتد المعالجة لأبعد من الأماكن التي بها رطوبة فعلا ، لأنه عندما يتم سد أماكن نفاذ الرطوبة فسرعان ما يجد الماء مسارات أخرى ، وخاصة إذا كان تحت ضغط ، مما يسبب ظهور الرطوبة في أماكن كانت جافة قبل العلاج .

وعندما يكون سطح الخرسانة المعرض للماء سهل الوصول إليه - كما في حالة الخزانات التي يمكن تفريغها أو الحوائط المعرضة للأمطار غزيرة - فإن وسائل العلاج تكون سهلة نسبيا ، أما إذا كان السطح الآخر - البعيد عن الماء - هو فقط الذي يمكن الوصول إليه فإن الإصلاح لن يكون سهلا ؛ لأن ضغط الماء سيكون إيجابيا أي يدفع طبقة التغطية بعيداً عن الخرسانة .

أ - عزل الأسطح المواجهة للماء :

وفي الحالة البسيطة التي يكون فيها ظهور الرطوبة نتيجة الأمطار الغزيرة ، فإن دهان أو رش محلول السيليكون أو أى محلول آخر تتشربه الخرسانة سيكون مناسباً ، وسيدوم لعدة سنوات قبل أن يحتاج لعملية صيانة .

محاذير :

- ١ - إذا كان ركام الخرسانة من الحجر الجيري فلا بد من التدقيق في اختيار مادة العزل ضد الماء ؛ لأن هناك أنواعاً من مواد العزل يمكن أن تتفاعل كيميائياً مع الحجر الجيري .
- ٢ - محاليل السيليكون والمحاليل المماثلة لا تسد الفجوات تماماً لكن فقط تعمل على ملء جزئى للفجوات ، شكل (٧ / ٤) - ولذا فإن الرطوبة الموجودة في الفجوات السطحية ستظل موجودة مما يجعل هذا الإصلاح عرضة للتلف نتيجة دورات التجمد والذوبان ، وإن كانت هذه المحاليل لا تغير كثيراً من مظهر المنشأ وتمنع تغلغل المياه الخارجية في الخرسانة .

- ٣ - إذا تمت معالجة السطح بأحد المحاليل التي تتشربها الخرسانة فمن الصعوبة بمكان عمل

أى طبقات تغطية أخرى ، ولذا فإذا كانت المعالجة غير ناجحة نجاحاً كاملاً فمن الصعب إصلاح الموقف بعد ذلك .

٤ - هناك عدد من مواد تغطية الأسطح تسمح بنفاذ بخار الماء ولا تسمح بنفاذ الماء السائل ، أى أنها تمنع تغلغل المياه الخارجية - جوفية أو مياه أمطار - وفى نفس الوقت تسمح للعضو الخرساني « بالتنفس » مما يقلل من خطورة دورات التجمد والذوبان ، ولكن أغلب هذه المواد تغير شكل المنشأ أو الأماكن التى تم تغطيتها بها .

وفى حالة الرغبة فى سد السطح تماماً - الملء الكلى للفجوات السطحية ، شكل (٧ / ٤) - فإذا كان هذا السطح مواجهاً لضغط الماء فهناك العديد من المواد السابق ذكرها فى قسم (٤ / ١) تستعمل فى التغطية السطحية ، وعمل طبقة التغطية السطحية قد يكون بالدهان بالفرشاة أو بالرش spray applied ، وقد يكون ألواح من مواد مختلفة مثل البلاستيك أو الأسفلت أو طلاء الأسمنت .

ويمكن استعمال الإضافات الطازجة للماء فى خلطة طلاء الأسمنت ، وبعض هذه الإضافات تحتوى على بودرة ناعمة تساعد على سد أى فجوات من التى كان من الممكن أن تبقى بعد طلاء الأسمنت .

ب - عزل الأوجه غير المواجهة للماء :

عندما يكون السطح المطلوب عزله هو السطح غير المواجه للماء ، فإن التصاق طبقة العزل بالخرسانة يصبح أمراً بالغ الأهمية ، ويستحسن أن يقوم بهذا العزل مقاول متخصص ، وطرق العلاج المتاحة تشمل عمل طبقات سطحية رفيعة من الأسمنت المضاف إليه مادة كيميائية فعالة فى سد الفجوات السطحية أو عمل طلاء أسمنتى أو استعمال مواد التغطية السطحية المذكورة فى قسم (٤ / ١) عن طريق الدهان بالفرشاة أو الرش أو استعمال ألواح التغطية .

والطريقة الأولى (الطبقات السطحية) تقوم على استخدام مادة تحتوى على الأسمنت والرمل الناعم المضاف إليها كيماويات تتفاعل مع الرطوبة الموجودة فى الفجوات مكونة بللورات تعمل على سد الفجوات والشروخ الرفيعة ، وفى هذه الحالة تصبح وظيفة الأسمنت والرمل هو حتمل المواد الكيميائية والإبقاء عليها ملاصقة للخرسانة

القديمة ، ويلاحظ أن البللورات لن تتكون إلا في وجود الرطوبة ، ولذا فإن أى مناطق جافة من الخرسانة يراد معالجتها يجب أن تبلل تماما ثم تترك ليُجف سطحها قبل وضع مونة التغطية وبعد ذلك توضع مادة الإصلاح في صورة لبانى - بمخلول الأسمنت في الماء - أو بودرة ، ويحتاج الأمر عادة إلى عدة طبقات من مواد مختلفة للوصول إلى عزل فعال .

وطريقة الطلاء الأسمنتى تتبع المواصفات الخاصة بذلك - مثل المواصفات البريطانية BS 5262 (١٠) إذا كان السطح يواجهها للماء أما في حالة الأسطح غير المواجهة للماء فلا بد أن يقوم بالعمل مقاول متخصص ؛ لأن ضغط الماء سيعمل على دفع طبقة العزل بعيدا عن الخرسانة ، وعادة ما يستخدم المقاول المتخصص إضافات خاصة في الطلاء مع تنظيف سطح الخرسانة جيدا للحصول على تماسك تام بين الطلاء والخرسانة ، ومما يساعد على زيادة التماسك تخشين السطح بالآلات الميكانيكية وإزالة الطبقات السطحية الضعيفة - اللباني - وفي حالة استخدام مادة لاصقة فلا بد من اختيار مادة تستطيع تحمل الظروف الرطبة الدائمة ، ويستحسن أن تكون أول طبقات الطلاء عن طريق الرش اليدوى بالمسطرين ، ويجب عمل تجويف عند الزوايا الداخلية - بين الحوائط والسقف أو الأرضية - وبعض المتخصصين يقترحون أن يكون هذا التجويف بعمق ٢٠ مم ويعمل قبل الطلاء .

أما الطريقة الثالثة ، وهى الدهان بالفرشاة أو الرش لطبقات التغطية السطحية فتتألف هذه الطبقات بين مواد الأسطح التى تتغلغل في الخرسانة وتُملأ الفجوات السطحية وتشكل طبقة سطحية رفيعة إلى الطبقات السمكية التى تصبح غشاء مرنا وقويا قد يصل إلى عدة ملليمترات إذا اقتضت الحاجة إلى ذلك - انظر قسم (٤ / ١) - وهذه الطبقات السمكية يمكن أن تسليح عند الحاجة وتصبح نافعة جدا للعزل ضد الماء في المنشآت المعرضة للحركة عند الشروخ ، ويراعى ألا تلتصق طبقة التغطية السطحية بجانبى الشرخ مباشرة وإنما تلتصق على بعد كاف وتكون بها نسبة مطاطية مناسبة لئلا تنقطع - انظر قسم (٤ / ٥٠ / ١٠) من الباب الثامن .

ويمكن استعمال الأغشية Membranes أو ألواح التغطية للعزل ضد الماء ، ويتم تثبيتها على سطح الخرسانة باستخدام مواد لاصقة مناسبة ، ويجب أن يقوم بهذا العمل متخصصون يأخذون في اعتبارهم توجيهات المصنع لمواد التغطية السطحية .

٤ / ٣ - حماية أسياخ التسليح كهربيا Cathodic protection :

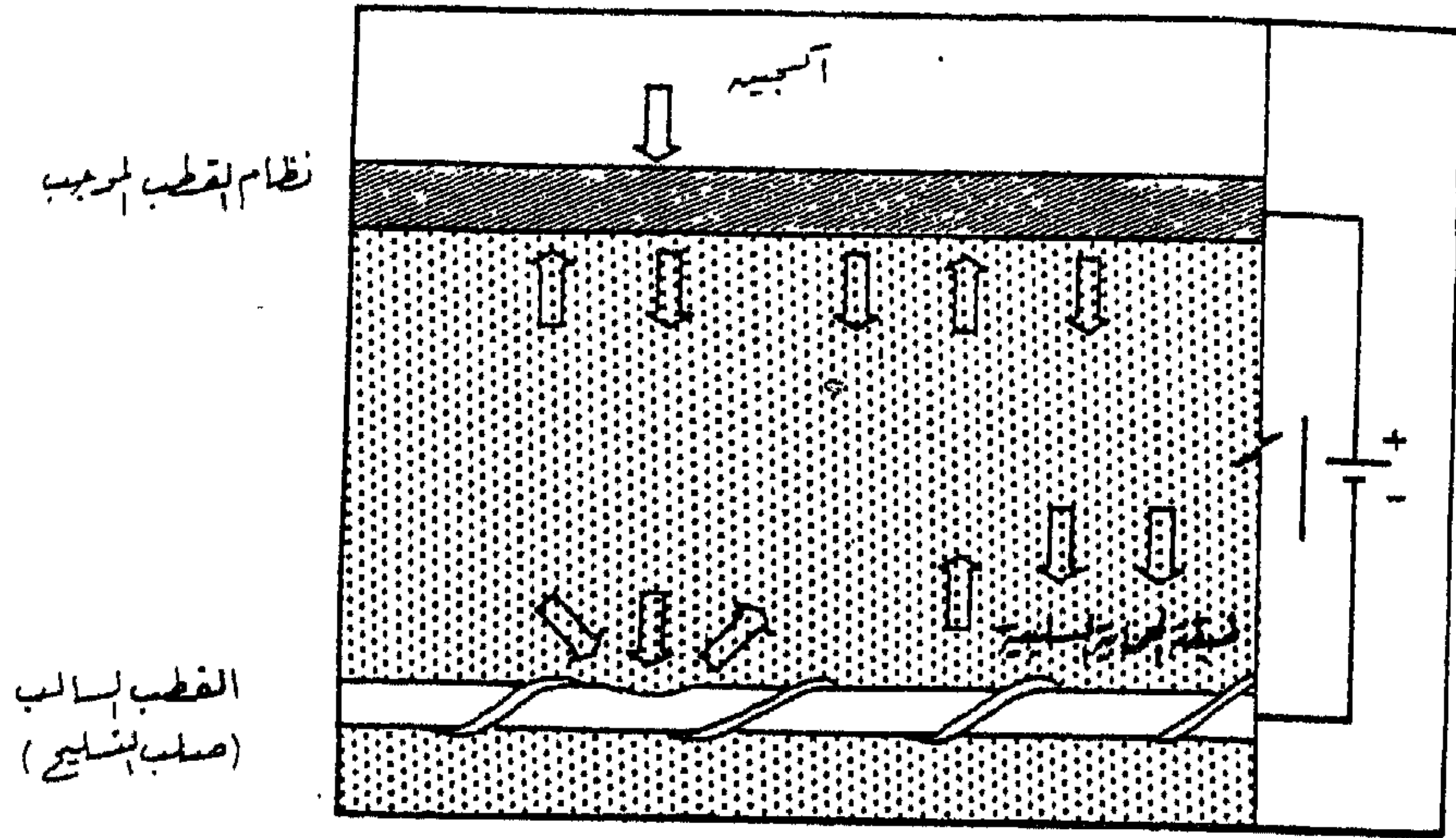
إن الخبرة فى حماية صلب التسليح كهربيا ما زالت محدودة ، ولكن يمكن القول بأن الحماية الكهربية تصبح طريقة اقتصادية فى منع التدهور فى أنواع معينة من المنشآت ، إذا كان خطر الصدأ ناجما من الكلوريدات سواء داخل الخلطة أو المتغلغلة من الخارج ، وقد استعملت هذه الطريقة فى العشرين سنة الأخيرة فى حماية الكبارى والمنشآت الخرسانية فى أماكن عديدة من العالم وأصبحت معروفة للمتخصصين فى الإصلاح ، ويتضح من قسم (٤ / ٦) من الباب الثامن أن إصلاح التدهور الناشئ عن صدأ الحديد نتيجة زيادة نسبة الكلوريدات ليس سهلا ؛ لأنه يتطلب إزالة كل الخرسانة الملوثة بالكلوريدات من حول أسياخ التسليح ، وفى بعض الأحيان يكون هذا الطلب عسيرا لأسباب إنشائية أو لصعوبة الوصول إلى العضو ، مما يهدد باستمرار الصدأ . حتى لو تم عزل الأعضاء الملوثة بالكلوريدات سطحيا .

وقد وجد من الخبرة المحدودة المتوافرة أن الحماية الكهربية أكثر فاعلية فى وقف عملية الصدأ من الطرق التقليدية فى حالة التلوث بالكلوريدات ، وقد وصلت المنظمة الفيدرالية للطرق السريعة FHWA بالولايات المتحدة (١١) للرأى التالى : « إن أسلوب الإصلاح الوحيد الذى ثبت أنه يوقف الصدأ فى الكبارى الخرسانية الملوثة بالأملاح هو الحماية الكهربية ، وذلك بغض النظر عن محتوى الكلوريدات بالخرسانة » .

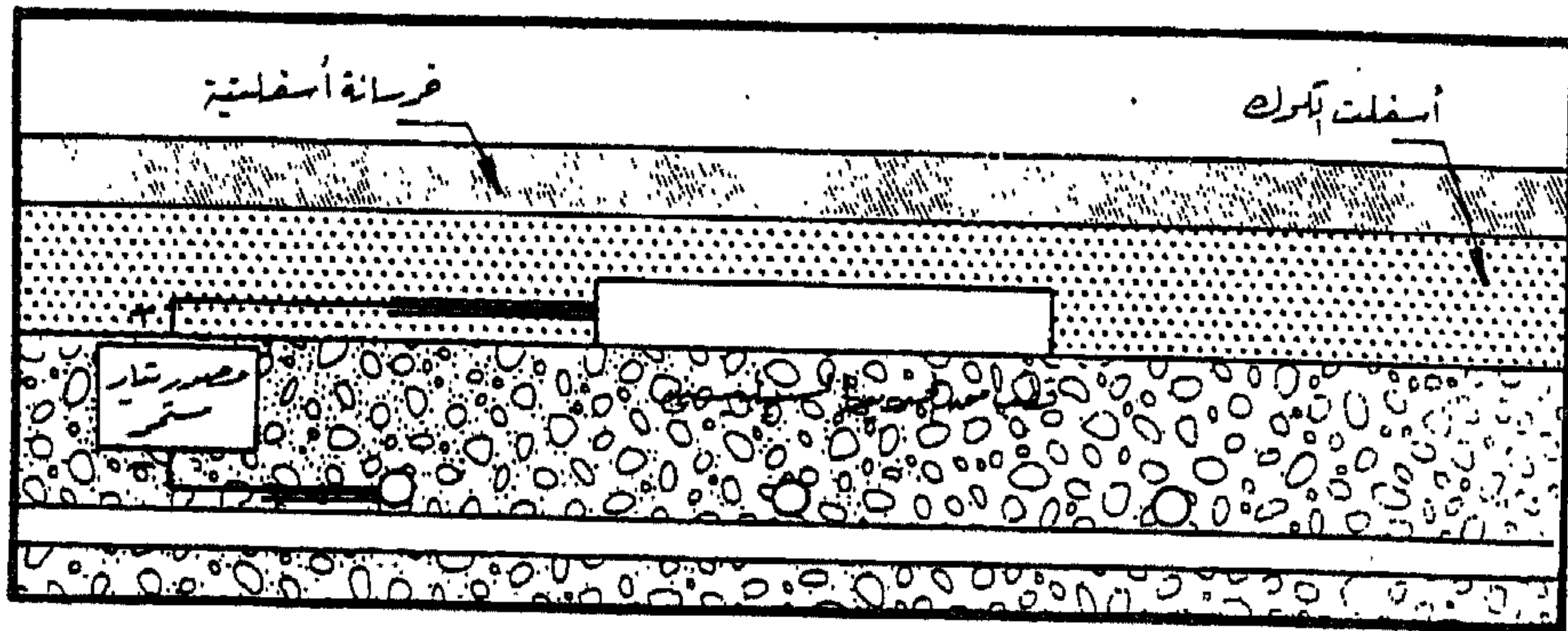
٤ / ٣ / ١ - أسس الحماية الكهربية :

إن المبدأ الأساسى فى الحماية الكهربية هو تقليل القدرة أو القابلية الكهربية لصلب التسليح مما يقلل كثافة التيار فيخفض معدل الصدأ ، وعندما تخفض القابلية الكهربية فلن يحدث تحول جديد للحديد إلى أيونات الحديدوز (Ferro ions) عند القطب الموجب - انظر شكل (٤ / ٢٢) فى الباب الرابع - ومن ثم تقف عملية الصدأ .

والحماية الكهربية تتم بتثبيت قطب موجب على سطح الخرسانة ، ثم تحويل صلب التسليح بطريقة اصطناعية إلى قطب سالب بواسطة تيار من مصدر تيار مستمر (DC source) ، فيتدفق التيار خلال الخرسانة من القطب الموجب إلى السالب ، وأهم التفاعلات الكهروكيميائية التى تحدث عند القطب الموجب هى - شكل (٧ / ١٤) - :



شكل (٧ / ١٤) التفاعلات الكهروكيميائية في الخرسانة المحمية كهربائياً



شكل (٧ / ١٥) الحماية الكهربائية لسطح كوبري - أقراص الحديد السيليبي مدفونة في طبقة موصلة للتيار من الأسفلت المصنوع من سقاط الكوك

في حالة الوسط القاعدي : $4OH^- \longrightarrow O_2 + 2H_2O + 4e^-$

في حالة الوسط المتعادل : $2H_2O \longrightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$

أما في وجود الكلوريدات فيمكن أن يحدث التفاعل التالي : $2Cl^- \longrightarrow Cl_2 + 2e^-$

وتتجه الأيونات السالبة مثل (OH^-, Cl^-) إلى القطب الموجب ، بينما تتجه الأيونات الموجبة إلى الاتجاه الآخر ، وهذا يعني أنه في حالة وجود تلوث بالكلوريدات حول صلب التسليح فإن الحماية الكهربية تؤدي إلى نقص تركيز الكلوريدات عند أسياخ التسليح نتيجة لحركة أيونات الكلوريدات السالبة إلى القطب الموجب عند سطح الخرسانة ، وإذا نقص تركيز الكلوريدات عند صلب التسليح فذلك يعني أن القاعدية ستزداد موفرة الحماية للأسياخ ضد أي صدأ جديد .

ويمكن القول ببساطة أن الحماية الكهربية توقف عملية الصدأ عن طريق إمرار تيار صغير مستمر إلى صلب التسليح ، بحيث لا يستطيع أي جزء منه الوصول إلى قابلية كهربية تسمح بالصدأ قرب سطح الخرسانة أو على سطحها ، حيث تتدفق الإلكترونات من تيار الحماية إلى كل أجزاء صلب التسليح ، بدلا من أن تنتقل من الأجزاء التي تصبح أقطابا موجبة على الأسياخ عند الصدأ إلى الأجزاء التي تصبح أقطابا سالبة - شكل (٤ / ٢٢) الباب الرابع - فلا يحدث تآكل أو تكون للصدأ عند هذه الأقطاب الموجبة .

٤ / ٣ / ٢ - نظام الحماية الكهربية :

يتكون نظام الحماية الكهربية من المكونات الآتية :

- مصدر تيار مستمر .
- نظام قطب موجب .
- موصل كهربائي - وهو الخرسانة - وفي هذه الحالة يكون لنسبة الرطوبة تأثير كبير على درجة التوصيل الكهربى .
- نظام قطب سالب - أسياخ التسليح - والتي يجب أن تكون متصلة كهربيا .
- كابلات التوصيل الكهربى ، ويجب أن تكون قدرتها على تحمل الأحمال الميكانيكية والكيمائيات عالية .

• أجهزة التحكم والقياس .

أ - نظم القطب الموجب :

إن الغرض من نظام الموجب هو توفير تيار الحماية بطريقة منتظمة ولكل أجزاء أسياخ التسليح ، ولذا فلا بد من أن تتوفر له المواصفات التالية :

• أن يكون قادرا على مقاومة المؤثرات الميكانيكية والكيميائية والطبيعية للبيئة المحيطة .

• عمره الافتراضى يجب أن يكون أطول من عمر طبقات التغطية - لا يقل عن ٢٠ سنة .

• سطح القطب الموجب يجب أن يكون من الكبر بحيث يضمن أن كثافة التيار الكهربى تكون صغيرة بما فيه الكفاية لمنع حدوث انهيار لنظام القطب الموجب نتيجة لتدهور القطب الموجب أو طبقة التلامس مع الخرسانة المجاورة .

• يجب أن يكون مجديا من الناحية الاقتصادية .

وهناك ثلاث نظم للقطب الموجب هى :

١ - الطبقات الموصلة Conductive overlay : وهى طبقة تعمل كقطب موجب مغطى سطح الخرسانة كله .

٢ - الأقطاب الموزعة Distributed anodes : حيث يتم توزيع عدد من الأقطاب الموجبة على سطح الخرسانة بانتظام ، فيصبح سطح الخرسانة مغطى جزئيا فقط بمادة القطب الموجب الفعالة .

٣ - طبقة معدنية من القطب الذوآب Sacrificial metal layer .

١ - الطبقات الموصلة :

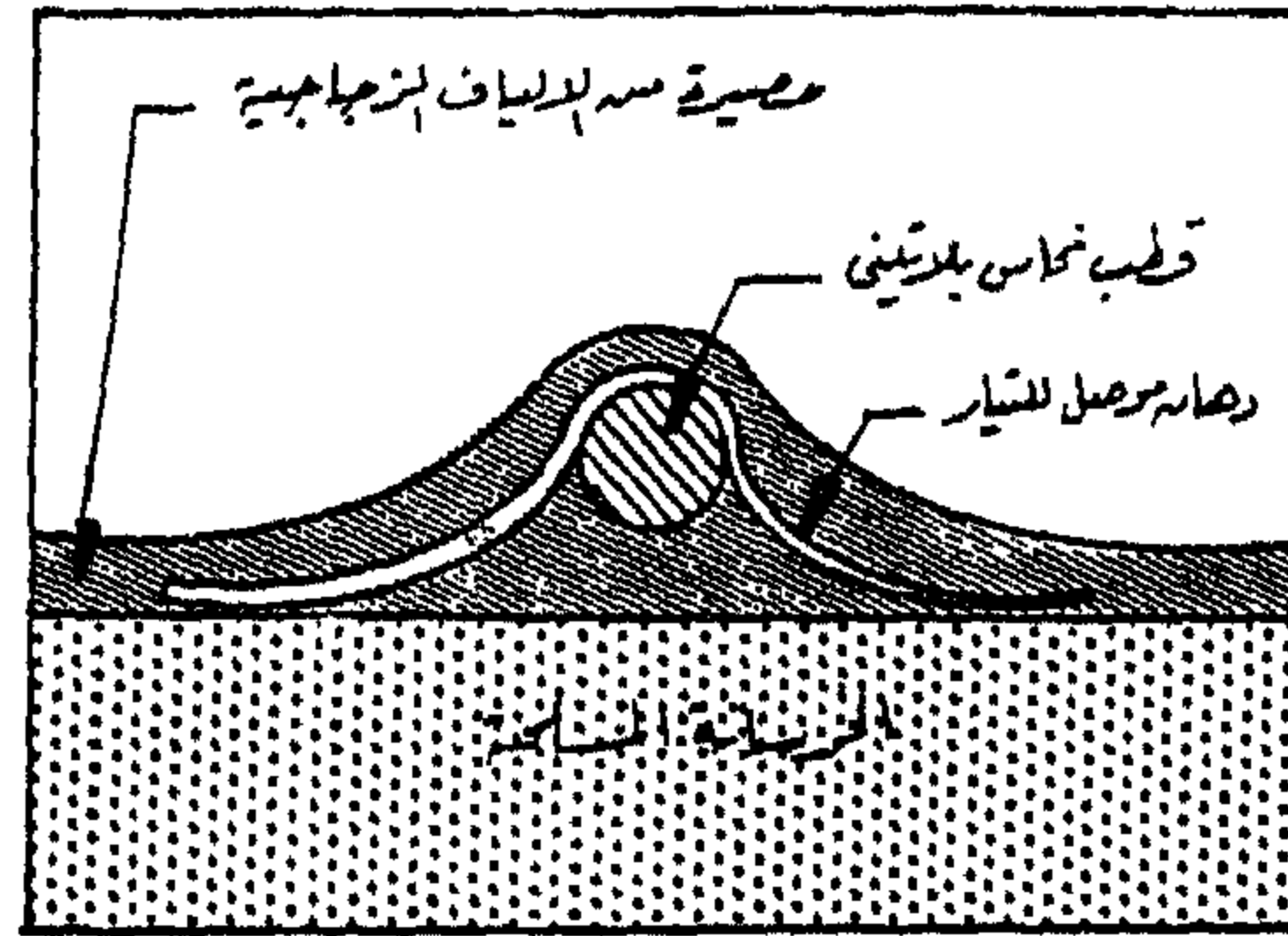
: وهى قطب موجب يغطى سطح الخرسانة كله ، وتتكون هذه الطبقات أساساً من تركيبة من الأقطاب الرئيسية والثانوية ، فالقطب الرئيسى من معدن خامل ، والقطب الثانوى يتكون من طبقات من المونة والأسفلت والدهان ، وهذه الطبقات تصبح موصلة للتيار الكهربى عن طريق جزئيات الكربون .

ومن أمثلة هذه الطبقات الموصلة : أقطاب الحديد السيليسى Silicon iron anodes

مع طبقات من الأسفلت الموصل للتيار - شكل (٧ / ١٥) - وهى من أقدم طرق الحماية الكهربية استخداما ، ويصبح الأسفلت موصلا للتيار باستخدام خبث الكوك (- Coke breeze) كمادة مالئة Filler ، والقطب الرئيسى عبارة عن أقراص من الحديد السيليسى بقطر ٣٠ سم وسمك ١ سم ، توضع فوقها طبقة من الأسفلت الموصل للتيار كقطب ثانوى ، وهذه الطريقة تستعمل فقط لأعلى الأسطح الأفقية ، وهى مستعملة فى حماية كبرى خرسانية فى الولايات المتحدة من سنة ١٩٧٣ .

ومثال آخر على الطبقات الموصلة : استخدام الأسلاك البلاتينية Platinized wires كقطب رئيسى يوضع على سطح الخرسانة وعمودى على هذه الأسياخ توضع ألياف الكربون Carbon fibers كقطب ثانوى ، ثم تغطى شبكة الأسلاك والألياف بطبقة موصلة للتيار من الأسفلت أو المونة الأسمنتية ، ولا تستعمل هذه الطريقة إلا على الأسطح الأفقية كذلك .

ومثال ثالث هو : الدهانات الموصلة للتيار ، حيث تستخدم الأسلاك البلاتينية كقطب رئيسى على سطح الخرسانة ، حيث تثبت على السطح وتوفر لها الحماية عن طريق حصيرة من الألياف الزجاجية وفوق الحصيرة طبقة من الدهان الموصل للتيار - كما فى شكل (٧ / ١٦) - وهذا الدهان هو تغطية سطحية سميكة أصبحت موصلة للتيار باستخدام الجرافيت كمادة مالئة له ، ولأسباب معمارية يتم تغطية الدهان الأسود بدهان باللون المطلوب - كما فى شكل (٧ / ١٦) - وهذا الدهان هو تغطية سطحية سميكة أصبحت موصلة للتيار باستخدام الجرافيت كمادة مالئة له ، ولأسباب معمارية يتم تغطية الدهان الأسود بدهان باللون المطلوب ، وميزة هذه الطريقة أنها تصلح للأسقف والأسطح لرأسه والأفقية ، أما عيبها فهى أنها لا تصلح للأسطح المعرضة للبرى والتآكل ، حيث إن تحملها ضعيف وعمرها الافتراضى من ٥ - ١٠ سنوات ، يلزم بعدها تنظيف سطح الخرسانة جيدا ودهانها بدهان جديد ، ومن مميزات هذه الطريقة كذلك سهولة التشغيل وسهولة إصلاح العيوب الموجودة ، ونسبة القالب الموجب : سطح الخرسانة (١ : ١) فى هذه الحالة ، وهى النسبة المفضلة حتى يصبح التدهور نتيجة التركيز الحمضى فى طبقة الخرسانة أسفل الدهان أبطأ ما يمكن نتيجة ضعف تيار الحماية عند القطب الموجب .



شكل (٧ / ١٦) الفكرة الأساسية لتغطية القطب الموجب بالدهان الموصل للتيار

٢ - الأقطاب الموزعة :

وهناك عدة نظم تستخدم في الحماية الكهربية ، منها :

• نظام الأقطاب الموجودة في شقوق سطحية slots - شكل (٧ / ١٧) :

حيث تستخدم أسلاك النحاس البلاتينية كقطب رئيسي وتدفن في الشقوق التي يتم قطعها في سطح الخرسانة ، ثم تملأ بعد وضع الأسلاك بمونة موصلة للتيار ، وقد كانت مونة الأسمنت المحتوية على جرافيت تستخدم أصلا ، ولكن الآن تستخدم مونة الأسمنت البوليمرية المحتوية على جرافيت ، وقد تستعمل ألياف الكربون كقطب ثانوي حيث تثبت عموديا على الأسلاك ثم تملأ الشقوق بالمونة الموصلة للتيار ، واستخدام القطب الثانوي يفيد في الحصول على انتظام أكثر في كثافة التيار كما يفيد في تخفيض تكلفة القطب الرئيسي ، وعيب نظام الشقوق السطحية أن نسبة القطب الموجب : الخرسانة حوالي (١ : ٧) ، وهي نسبة غير جيدة بالنسبة لتكون الأحماض عند السطح ، وقد يسبب اختلاف درجات الحرارة ودورات التجمد والذوبان نقص في التصاق المونة الموصلة للتيار بالخرسانة المحيطة بها .

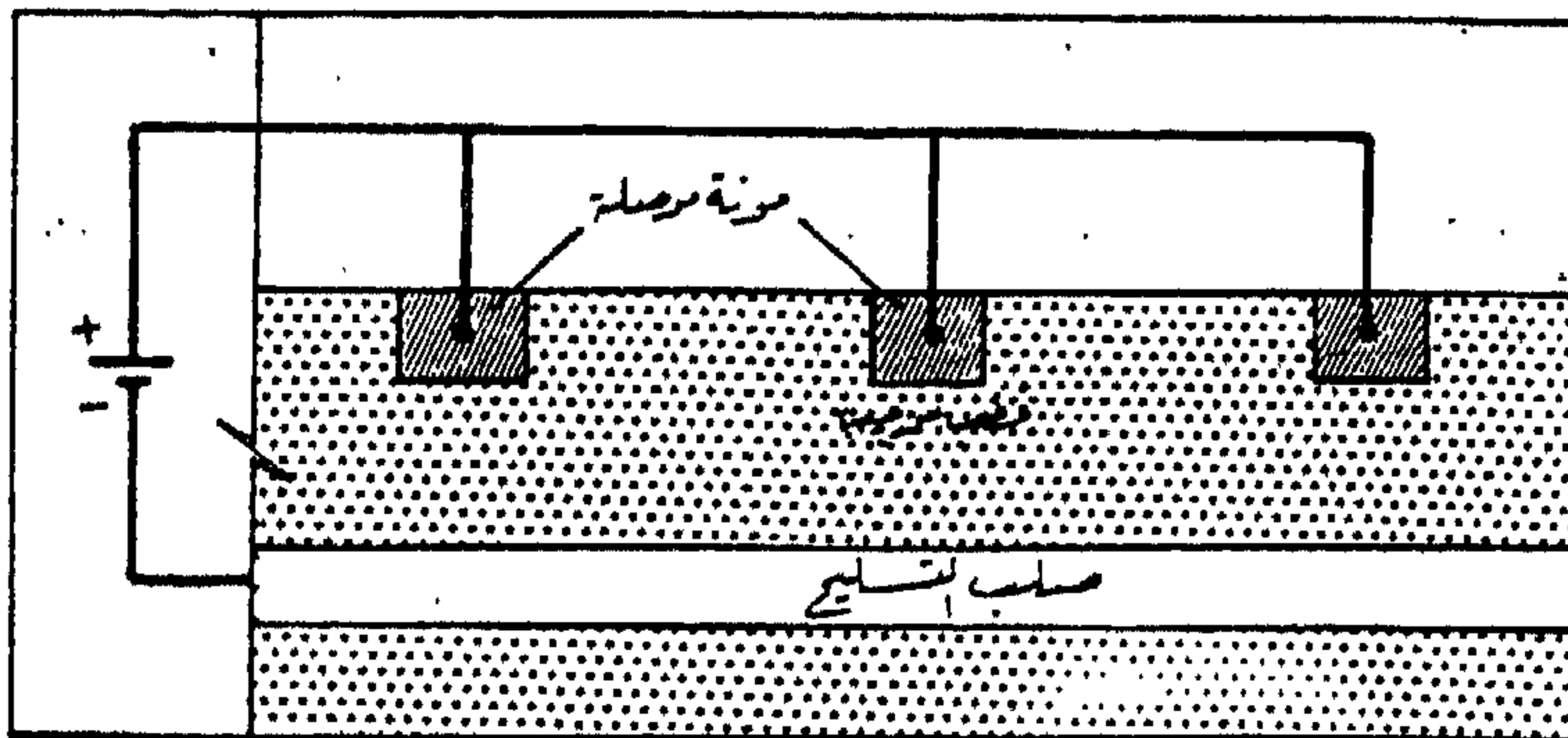
• الكابل البوليمري المملوء بالجرافيت ذو القلب النحاسي :

Filled Polymer cable with a copper Core

ويتم تثبيت هذه الكابلات على سطح الخرسانة بمثبتات من البلاستيك ، ثم تغطي بالخرسانة بالرش أو الصب ، ويمكن استخدام هذا النظام في الأسطح الأفقية والرأسية على السواء ، وهو يستخدم فعلا في حماية الكبارى الخرسانية والجراجات والكمرات والأعمدة ، نظرا لأن عمر هذا النظام أكثر من ٢٥ سنة - والعمر يعتمد على كثافة التيار المستخدم - ونسبة القطب : الخرسانة في هذا النظام (١ : ٤) ، وهى أفضل من نظام الشقوق السطحية السابق وإن كانت لا ترقى إلى نظام الدهان الموصل للتيار ، وإذا كان قطر الكابل ٨ مم فإن سمك طبقة التغطية الخرسانية المطلوب يكون فى حدود ٤ سم .

• الأقطاب الموجبة من الشبكات المعدنية :

ويعتمد هذا النظام على شبكات معدنية وطبقات من المونة ، والشبكات تتكون من التيتانيوم كطبقة تحتية لأكاسيد معدنية خاصة ، وهذا النظام يعيش طويلا لأن تكون الكلورين Chlorine يكون قليلا بالمقارنة بالنظم الأخرى ؛ وذلك لأن أكاسيد المعادن الخاصة لها قابلية ضعيفة لتحويل الأكسجين ولذا فستكون الأكسجين بدلا من الكلورين ، ومن مميزات الأخرى أن تلف طبقة الأكاسيد المعدنية لن يكون له تأثير ضار ؛ لأن التيتانيوم المكشوف فى هذه الحالة سلبى لدرجة كبيرة ، ولكن نسبة القطب : الخرسانة منخفضة حيث تتراوح بين (١ : ٤ ، ١ : ١٠) ، ومثل النظام السابق - الكابلات - فإن هذا النظام يغطي بكميات كبيرة من الخرسانة - بسمك حوالى ٣ سم - وهذا يعطيه مقاومة للانهدار نتيجة تكون الأحماض أو غيرها من أسباب الانهدار .



شكل (٧ / ١٧) نظام الشقوق السطحية والأقطاب المدفونة فى مونة موصلة للتيار

* الأقطاب المكونة من شرائح Strip nodes :

وهذه الشرائح عبارة عن أسلاك النحاس البلاتينية كقطب رئيسى مدفونة فى مونة موصلة للتيار - وقطب ثانوى - وتكون الشرائح بعرض ٥ سم وسمك ١ سم وطول ٣٠ سم ، ثم تغطى بطبقة من الخرسانة بالرش أو الصب .

٣ - الأقطاب الذوابة Sacrificial anodes :

وهناك نوع آخر من الأقطاب الموجبة وهو غشاء الزنك المرشوش ، وهذا الغشاء سمكه ٢ مم ، ويرش فوق الخرسانة ثم يوصل كهربيا بصلب التسليح ، وهو ما يعرف بالقطب الذواب ، وهو لا يحتاج إلى مصدر خارجى له قابلية كهربية Potential ، ولكن الظاهر أن عمر هذه الطريقة من الحماية الكهربية قصير .

٤ / ٣ / ٣ - تحمل طرق الحماية الكهربية مع الزمن :

لكى يكون نظام الحماية متينا ويتحمل مع الزمن ، فلا بد أن كل أجزائه تعمل بكفاءة طوال عمره الافتراضى ، وفشل أى جزء فى أداء وظيفته يقلل من عمر النظام ككله ، وفى المشروعات الرائدة فى مجال الحماية الكهربية ظهرت عدة عيوب لهذه النظم ، منها : تآكل كابلات التوصيل للأقطاب الرئيسية ، تلف وحدة التحكم الكهربية ، تآكل طبقة الأسفلت الموصلة للتيار وانفصال طبقة الخرسانة بالرش ، وليست كل هذه العيوب عيوباً نمطية متكررة فى نظم الحماية الكهربية ، وإنما العيوب المتكررة هى ما يلى :

أ - استهلاك القطب الموجب :

إحدى صور ميكانيكية التدهور المتوقعة هى تدهور القطب الموجب ، فعند هذا القطب تحدث التفاعلات الكيميائية السابق ذكرها ، وعند استخدام الجرافيت فى الكابلات أو المونة الموصلة فإن بعض التفاعلات الأخرى قد تحدث مثل :



مما يعنى أن القطب الموجب سيفقد سمكه بالتدريج وبيضاء ، فالقطب الموجب المحتوى على كربون يبدأ فى إنتاج أول وثانى أكسيد الكربون عند قابلية كهربية بسيطة للقطب الموجب ، فمن كثافة تيار ٠٦ ، أمبير / م^٢ يبدأ التقطيب Polarization يزداد بدرجة كبيرة إلى ١ ، أمبير / م^٢ ، وهى القيمة القصوى التى يوصى بها لتيار الحماية (٩) ، ما الشبكات

المعدنية من التيتانيوم فتصرف بطريقة أفضل كثيرا فى حالة التيارات الضعيفة .

ب - تكون الحامض عند القطب الموجب :

كنتيجة للتفاعلات الكيميائية المذكورة سابقا فإن قاعدية الخرسانة عند السطح - أو عند القطب الموجب - ستخفض مما يعنى زيادة الحامضية ، وقد تكون المواد المستخدمة فى القطب الموجب لها مقاومة عالية للأحماض ، أما مونة الخرسانة المحيطة فليس لها مثل هذه المقاومة ، ولذا فمن المحتمل حدوث تدهور نتيجة الأحماض لطبقة رقيقة من الخرسانة ، ولأن فليس من المعروف مدى خطورة هذه الظاهرة لأن كمية الحامض المتكونة فى وقت معين تتناسب مع كثافة التيار ، فمثلا لتيار كثافته ٠.١ أمبير / م^٢ ومساحة سطحية متساوية لكل من صلب التسليح والخرسانة فإن إنتاج حامض من ٣ جرامات من الهيدروجين (H^+) لكل م^٢ / سنة سيكون متوقعا وهو ما يحتاج إلى ٥١ جراما من (OH^-) للتعاادل معه ، فإذا كان الحصول على هذا المكون (OH^-) سيتم بالكامل من الجير الحر بالخرسانة فإن هذا يعنى تآكلا لسلك ٣ - ٤ مم من الخرسانة كل عام (فى حالة خرسانة بالرش من الأسمنت البورتلاندى العادى نسبة الأسمنت : الركام ١ : ٥) ، ولكن معدل التدهور الحقيقى سيحدد منه معدل وصول أيونات الهيدروكسيل من الخرسانة التختية ، وإذا زادت كثافة التيار سيزيد معدل التدهور ، كما أن وجود الكلوريدات وزيادة نسبتها لها تأثير على معدل زيادة الحامضية .

وفى مرجع (١٢) نتائج تجارب أجريت لقياس معدل التحول من القاعدية إلى الحامضية ، وكانت كثافة التيار المستخدم ١ أمبير / م^٢ ، وقد وجد الباحثان أن الأس الهيدروجينى (pH) انخفض من ١٣ إلى ٨ بعد سبعة شهور ، ولكن هذا الانخفاض حدث فقط فى المليمتر الأول ولم يصل الأس الهيدروجينى إلى القيم الحامضية إلا عند زيادة التيار إلى ١٠ أو ٢٠ ضعف القيمة الموصى بها (وهى ١ أمبير) ، حيث وصل الأس الهيدروجينى إلى ٤ ، وكانت نسبة الكلوريدات فى الخرسانة المختبرة ٢ ٪ من وزن الأسمنت ، وعندما وصلت نسبة الكلوريدات إلى ٦ ٪ وهى أعلى من المسموح به - كان النقص فى قيمة الأس الهيدروجينى أكبر .

ولذا فإنه كلما زادت نسبة القطب : سطح الخرسانة كلما كان ذلك أفضل لكل من استهلاك القطب وتكون الأحماض .

جـ - الحماية الزائدة :

وهى تعنى تقليل القابلية الكهربية للأسياخ أكثر مما تحتاجه الحالة ، ويتم ذلك بزيادة كثافة التيار وهذا يعنى :

* الحد من عمر نظام القطب الموجب .

* زيادة سرعة تدهور الخرسانة السطحية .

* احتمال فقد التماسك بين صلب التسليح والخرسانة لتراكم المواد القلوية على سطح الأسياخ ، ولذا فيجب تجنب الحماية الزائدة وعدم زيادة التيار عن ١,٠ أمبير / م^٢ .

٤ / ٣ / ٤ - تصميم نظام الحماية الكهربية :

يجب أن يأخذ المصمم لهذا النظام فى اعتباره المدى الواسع للظروف المتغيرة عن سطح أسياخ التسليح نتيجة التغير فى الغطاء الخرساني ، ومحتوى الرطوبة ، والمقاومة الكهربية ، وتوفر الأكسجين ، ولكى يتم ذلك فلا بد من الفحص الدقيق للمنشأ لتحديد مناطق تساقط الغطاء الخرساني ، والتحقق من اتصال الأسياخ كهريا والقابلية الكهربية للأسياخ وقياس الغطاء الخرساني ، ويستحسن أن يتم تقسيم نظام الحماية الكهربية إلى مساحات منفصلة ، بحيث يتم اختبار كثافة التيار المناسبة لكل منطقة وتوصيلها بانتظام لكل صلب التسليح .

وبعد تركيب نظام الحماية الكهربية لابد من قياسه ومتابعته للتأكد من أن الحماية عند المستوى المناسب لكل جزء من أجزاء المنشأ ، ويتم ذلك باستعمال أنصاف الخلايا Half - Cell المدفونة - انظر اختبارات الخرسانة ، قسم (٤ / ٢ / ١) من الباب الثالث - ويتم تسجيل قراءات القابلية الكهربية أتوماتيكيا ، ثم تقارن بالقراءات المأخوذة قبل تركيب نظام الحماية للتأكد من انخفاض القابلية إلى المستوى الذى يصبح معه معدل الصدأ بسيطا جدا ومقبولا ، ولابد عند تصميم نظام الحماية الكهربية أن يكون بحيث يمكن إعادة ضبط الأجزاء المختلفة عند تغير الظروف المحيطة .

ومن الصعب فى الطبيعة تفادى الحماية الزائدة السابق الحديث عنها كلية ، ولذا فلا بد من أن نتوقع تكون الهيدروجين نتيجة ذلك ثم تبخره ، وإذا كان التحكم فى نظام مصمم بكفاءة جيدا فإن حدوث ظاهرة الحماية الزائدة سيكون أقل ما يمكن ، ولن يصبح هذا الهيدروجين ضارا .

٤ / ٣ / ٥ - متى يستخدم نظام الحماية الكهربية ؟ :

عندما يكون المنشأ ملوثاً بدرجة كبيرة بالكلوريدات ، فإن نظام الحماية الكهربية يكون أفضل من الطرق التقليدية فى الإصلاح ؛ لأنه فى هذه الحالة لن يلزم إزالة الأجزاء الخرسانية التى لم يحدث لحديدها صدأ ، وفى الطرق التقليدية للإصلاح لابد من إزالة كل الخرسانة الملوثة بالكلوريدات ؛ لأن الصدأ سيبدأ بها بمجرد إصلاح الأجزاء التى حدث بها صدأ فعلاً ، وذلك لأنه عندما يحدث صدأ فى مكان ما فإن هذا الصدأ سيوفر حماية كهربية للخرسانة الملوثة القريبة فلا يحدث بها صدأ ، أما فى حالة الحماية الكهربية فيلزم إزالة الخرسانة فى الأجزاء التى صدأت فقط .

والتفضيل بين طريقة الحماية الكهربية وطرق الإصلاح التقليدية اقتصادياً يعتمد على ظروف كثيرة ، فعندما يكون الوصول إلى الأماكن الصدأ سهلاً وهناك فريق إصلاح دائم لإصلاح المناطق الصدأ كلما ظهرت بالمونة الأسمنتية يصبح أرخص الحلول ، أما عندما يكون الوصول إلى الأعضاء الخرسانية صعباً والمطلوب الحصول على إصلاح دائم لا تحدث به مشاكل لفترة طويلة ، فإن استخدام الحماية الكهربية قد يكون أرخص .

والمشكلتان الرئيسيتان اللتان تواجهان من يريد استخدام نظام الحماية الكهربية هما :

١ - ضرورة أن يكون نظام القطب الموجب قادراً على تحمل الظروف المحيطة بكفاءة لمدة طويلة ، وأن يكون فى ذات الوقت متصلاً كهربياً مع الخرسانة السطحية .

٢ - ضرورة أن يوفر نظام الحماية التيار المطلوب لكل أسياخ التسليح ، بالرغم من التغيرات الكبيرة من مكان لآخر فى المقاومة الكهربية بين سطح الخرسانة وطبقات الصلب المتتالية .

المراجع

1 - ACI committee 121:

" Quality Assurance Systems for Concrete Construction" ACI, Journal
July _August 1982 .

2 - Comite Euro - international du Beton (CEB) :

" Quality Control and Quality Assurance for Concrete Structures" Bulletin No. 157 , 1983 and CEB task group I / 3 .

٣ - الكود المصري لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية المسلحة

وزارة الإسكان والتعمير - مركز بحوث البناء والإسكان والتخطيط
العمراني - القاهرة ١٩٨٩ م .

4 - Youick C.A.:

" Effects of Revibrating Concrete " J . of ACI , Vol . 72 , No . 8 .
Aug . 1975 , PP 421 _ 428 .

5 - Rixom , M . R . and waddicor , J . :

" Role of Lignosul Fonates as Superplasticizer _ Develepement in the
Use of Superplasticizers " SP - 68 , ACI . Detriot , U.S.A. 1981 ,
PP 329 _ 379 .

6 - British standards Institution BS 8110 :

" The Structural Use of Concrete " BSI , London , 1982 .

7 - Americon Conrete Institc ACI 318 - 90 :

" Building Code Requirements for Reinforced Concrete ACI committee 318 , Detriot , USA , 1990 .

8 - Siems , A. H . , Vrouwenvelder ,A . M . :

"Durability of Buildings" Heron , Vol . 3 , No . 3 , 1985 .

9 - Jen J . :

" Maintenance and Repair of Concrete Strctures|" Heron , vol . 34 ,
No. 2 , 1989 , 83 P .

10 - British Standards Institute BS 5262 :

" Code of Practice for External Rendered Finishes " London BS
5262 , 1976 , 24PP .

11 - Banhart , R .A :

" FHWA Position On Cathodic Protection Systems " U. S .Dept . of
Transportation , Federal Highway Admen . Memo ., Washington ,
April 1982 .

12 - Schell , H . C . and Manning S . G . :

" Evaluating the Performance of Cathodic Protection Systems on
R.C. Bridge Substructures " Corrosion 85 , Paper No . 263 , Bos-
ton , 1985 .

الباب الثامن

إصلاح وتقوية المنشآت الخرسانية

أ. د. شريف أبو المجد

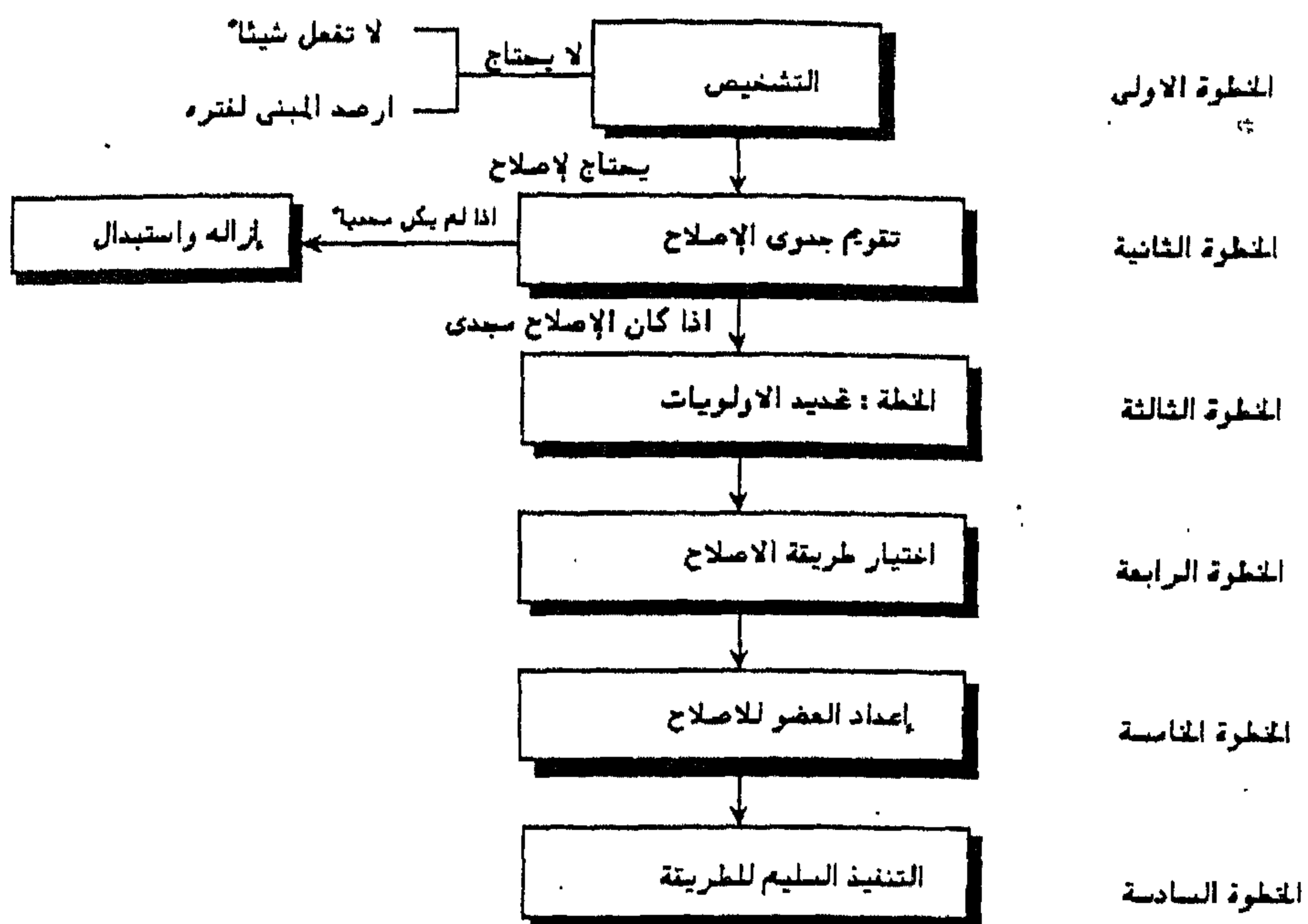
١ - خطوات الإصلاح الجيد

١ / ١ التشخيص :

قبل الشروع فى أية إصلاحات - إلا فى حالات الطوارئ - من الضرورى الوقوف على أسباب التدهور ، وهذا ما يسمى بالتشخيص - انظر شكل (٨ / ١) (١) ويجب أن نضع نصب أعيننا أن التدهور عادة ما يكون نتيجة لعدة أسباب وليس لسبب - واحد فقط ، والقيام بأعمال الإصلاح دون إزالة الأسباب الأصلية التى أدت إلى التدهور مضيعة للجهد والمال ؛ لأن العيوب ستظهر مرة أخرى بعد الإصلاح بوقت قليل - وأحيانا بعد الإصلاح مباشرة - ولقد وجد أن الشروع فى الإصلاح قبل التأكد من إزالة أسباب التدهور للأسف تحدث باستمرار ، وقد يزال سبب وتترك باقى الأسباب ، ولهذا فإن اتباع ما جاء بالباب الخامس من تشخيص دقيق للحالة وتحرر مستفيض لأسبابها فى ضوء المعلومات المتاحة فى الباب الرابع عن أسباب حدوث كل نوع من أنواع الشروخ لا بديل له للحصول على إصلاح سليم ودائم .

١ / ٢ - تقويم جدوى الإصلاح :

الخطوة الثانية بعد تشخيص الحالة هى تحديد مدى جدوى الإصلاح وإمكانيته ، وهذا يتطلب الإجابة على ثلاث أسئلة قبل الشروع فى العمل : أولها : هل الأمر يستدعى عمل إصلاح ؟ أم أن التدهور بسيط وغير مؤثر ؟ والثانى : هل من الممكن عمل إصلاح فعال ؟ والثالث : هل الأمر يستحق عمل هذا الإصلاح ؟ فقد يكون التدهور وصل إلى الحد الذى لا يمكن إصلاحه بتكلفة معقولة أو لا يمكن إصلاحه بإصلاحا يدوم لفترة طويلة ويتمنع حدوث تدهور مستقبلى ، فإذا كانت التكلفة غير مقبولة أو أن الإصلاح لن يدوم فتصبح الإزالة والاستبدال هى الحل الأفضل .



شكل (٨ / ١) - خطوات الإصلاح الجيد (١)

ولما كان الإصلاح الفعال فى كثير من الأحيان مكلفا فلا بد من عمل تقييم دقيق للحالة (assessment) بعد تشخيصها ، للمقارنة بين البدائل المطروحة من الناحية الاقتصادية ومن ناحية متطلبات السلامة الإنشائية ، وللمقارنة بين أداء المنشأ فى حالة إصلاحه وأدائه بعد إزالة أسباب التدهور ، ولكن دون عمل إصلاحات مكلفة ، وهذا التقييم الدقيق لا يتم عادة لأنه يحتاج إلى وقت وتكلفة لتعدد أسباب العيوب ، وصعوبة الفصل بينها ، وعدم وجود بيانات دقيقة عن المواد المستخدمة فى التنفيذ وطرق التنفيذ . وبداية ظهور الشروخ وكيفية ازديادها ... إلخ ، وبدون هذا التقييم الدقيق فإن المهندس المسئول عن اتخاذ قرار الإصلاح عادة ما يقع فى نوعيتين من الأخطاء :

النوعية الأولى : الخطأ فى تقرير أن المنشأ يحتاج فعلا إلى إصلاح ما ، فى حين أنه لا يحتاج إليه .

النوعية الثانية : الخطأ فى تقرير أن المنشأ سليم ، فى حين أنه يحتاج فعلا إلى إصلاح .
والنوعية الأولى من الخطأ أهون ؛ لأنها تسبب فقد المال ، أما النوعية الثانية فقد تسبب فقد العقار أو فقد الأرواح .

ولتلافى الوقوع فى هذه الأخطاء فإنه بعد عمل التشخيص اللازم – راجع الباب الخامس – فلا بد من تحديد البدائل المطروحة والآثار المترتبة على كل منها ، حتى يمكن اختيار أنسب الحلول ، ورغم أن طبيعة التدهور ومداه سيؤثر تأثيرا كبيرا على القرار الذى سيتخذ ، فإن البدائل المطروحة عادة ما تكون من ضمن السبعة الموجودة فى جدول (٨ / ١) ، ويساعد هذا الجدول المهندس المسئول عن اتخاذ قرار الإصلاح فى تحديد النتائج المترتبة على كل خيار ، وإذا أمكنه وضع نسبة لاحتمال حدوث كل نتيجة من النتائج لأمكن المفاضلة بين هذه البدائل واختيار أنسبها .

ووضع قيمة لاحتمال حدوث أى نتيجة من النتائج الموضحة فى جدول (٨ / ١) أو أية نتائج أخرى حسب الحالة – يعتمد على دراسة نظرية الاحتمالات وطرق تطبيقها فى مثل هذه الحالات ، وقد أصبحت نظرية الاحتمالات أساسية بالنسبة للمهندس سواء فى التصميم أو فى تخطيط أعمال التنفيذ – والخبرة عليها معول كبير لكى يمكن تقدير نسبة احتمال حدوث كل نتيجة من نتائج حالة بعينها بدقة معقولة .

ومن المفيد الوصول إلى طريقة لاختيار أنسب البدائل المتاحة ، بحيث تكون مبنية

على تحليل اقتصادى (Cost analysis) وتحليل للمخاطر (risk analysis) ، وهناك طريقة بسيطة تعتمد على حساب التكلفة المتوقعة للبدائل المختلفة والمفاضلة بينها على أساس اقتصادى ، مع أخذ احتمالات حدوث النتائج المترتبة على كل خيار فى الاعتبار .

١ / ٢ / ١ - طريقة التكلفة المتوقعة :

أ - وفى هذه الطريقة يتم تحديد البدائل المطروحة لحالة ما من الخيارات السبعة السابقة وأى خيارات أخرى محتملة ، ثم يتم تحديد النتائج المترتبة على كل خيار فى صورة احتمالات محددة ، فمثلا إذا كان الخيار الأول هو « لا تفعل شيئا » فإن النتائج المترتبة على ذلك تتراوح من الأداء الإنشائى السليم للمبنى فى عمره الافتراضى إلى الانهيار المفاجئ للمبنى أثناء استخدامه ، والنتيجة الأخيرة هى من أخطاء النوعية الثانية المذكورة سابقا .

وليس من السهل بطبيعة الحال التنبأ بالنتائج المترتبة على كل خيار بدقة ، وذلك لأن معلومات المهندس عن النظام الإنشائى غير كاملة ، ولأن المتغيرات فى الطبيعة عن افتراضات التصميم كثيرة فيما يتعلق بالأحمال والمواد المستخدمة ودرجات الحرارة والرياح ... إلخ ، ولكن يمكن وضع كل النتائج المحتملة لأى خيار ووضع نسب احتمال لحدوثها مبنية على دراسة للواقع ومعتمدة على الخبرة السابقة وتوضع نسب الاحتمال على هيئة كسر (٧ ، ٠) مثلا إذا كانت نسبة احتمال الحدوث ٧٠ ٪) .

ب - ثم يتم عمل تقدير لتكلفة كل نتيجة من النتائج المترتبة على خيار ما ، بما فى ذلك التعويضات فى حالة الانهيار مثلا ، أو نقص قيمة المبنى فى حالة صلب الكمرات - سندها - أو الأسقف بصفة دائمة ، ويستحسن أن يكون تقدير التكلفة دقيقا بقدر الأمكان .

ج - حاصل ضرب احتمال حدوث أى نتيجة فى تكلفتها ينتج عنه تقدير لتكلفة هذه النتيجة ومجموع تكلفة النتائج المترتبة على خيار ما يعطينا التكلفة التقديرية لهذا الخيار ، ويصبح أنسب الخيارات هو أقلها تكلفة ، وفى المثال التالى توضيح لهذه الطريقة :

مثال :

فى مبنى من الخرسانة سابقة الصب سابقة الإجهاد حدثت شروخ مائلة فى الكمرات

سابقة الإجهاد ، وتم تشخيص هذه الشروخ على أنها شروخ لى (Torsion cracks) نتيجة الانبعاج (Warming) الذى حدث لبلاطات السقف عند تعرضها لدرجات حرارة مرتفعة أثناء الإنشاء ، وكان هناك قلق على سلامة المبنى لأن الكمرات لا تحتوى على تسليح عرضى - كانت - تكفى لمقاومة عزوم اللى التى قد تحدث بعد استخدام المبنى نتيجة تحميل غير متساو - أحمال غير طبيعية - والتى قد تؤدى إلى حدوث انهيار جزئى لهذه الكمرات . وكانت هناك أربعة خيارات مطروحة :

الخيار الأول (خ ١) : لا تفعل شيئا .

الخيار الثانى (خ ٢) : لا تقم بالإصلاح وإنما ارصد المبنى أثناء الاستعمال .

الخيار الثالث (خ ٣) : ضع دعائم رأسية دائمة حول الأعمدة - وهذا الخيار سيؤدى إلى عدم استخدام أجزاء من المبنى .

الخيار الرابع (خ ٤) : إصلاح الشروخ وزيادة الشد الخارجى فى الكمرات ، والنتائج المترتبة على الخيار الأول ثم اختيارها كالاتى :

* النتيجة الأولى (ن ١ ، ١) : أن يعمل المنشأ بكفاءة وبلا مشاكل - التكلفة لا شىء .

* النتيجة الثانية (ن ١ ، ٢) : أن تحدث شروخ جديدة . وخاصة فى كمرات السطح ويضطر المالك فى هذه الحالة لعمل إصلاح مكلف - التكلفة ٧ مليون .

* النتيجة الثالثة (ن ١ ، ٣) : أن يحدث انهيار محلى فى بعض الكمرات - لا يشكل كارثة - كنتيجة لتضايف غير متوقع لمجموعة من الأحمال الخارجية - التكلفة مليون .

* النتيجة الرابعة (ن ١ ، ٤) : أن يحدث انهيار مفاجئ لسقف من الأسقف كاحتمال نادر الحدوث لمجموعة من الأحمال الخارجية فى نفس الوقت - التكلفة ١٠ مليون بما فيها التعويضات .

وقد وضعت هذه النتائج واحتمالات حدوث وتكلفة حدوث كل منها فى الأعمدة الثلاثة الأولى من شكل (٢ / ٨) .

وأما النتائج المترتبة على الخيار الثانى فقد تم تحديدها بحيث تكون نفس النتائج المترتبة على الخيار الأول ولكن بقيم مختلفة لاحتمالات الحدوث ، ورغم ذلك سميت (ن ٢ ، ١) ... إلى (ن ٢ ، ٤) لكى تكون مختلفة عن النتائج (ن ١ ، ١) ... إلى (ن ١ ، ٤) الخاصة بالخيار الأول ؛ لأنها يمكن أن تكون مختلفة فى طبيعتها عن نتائج الخيار الأول .

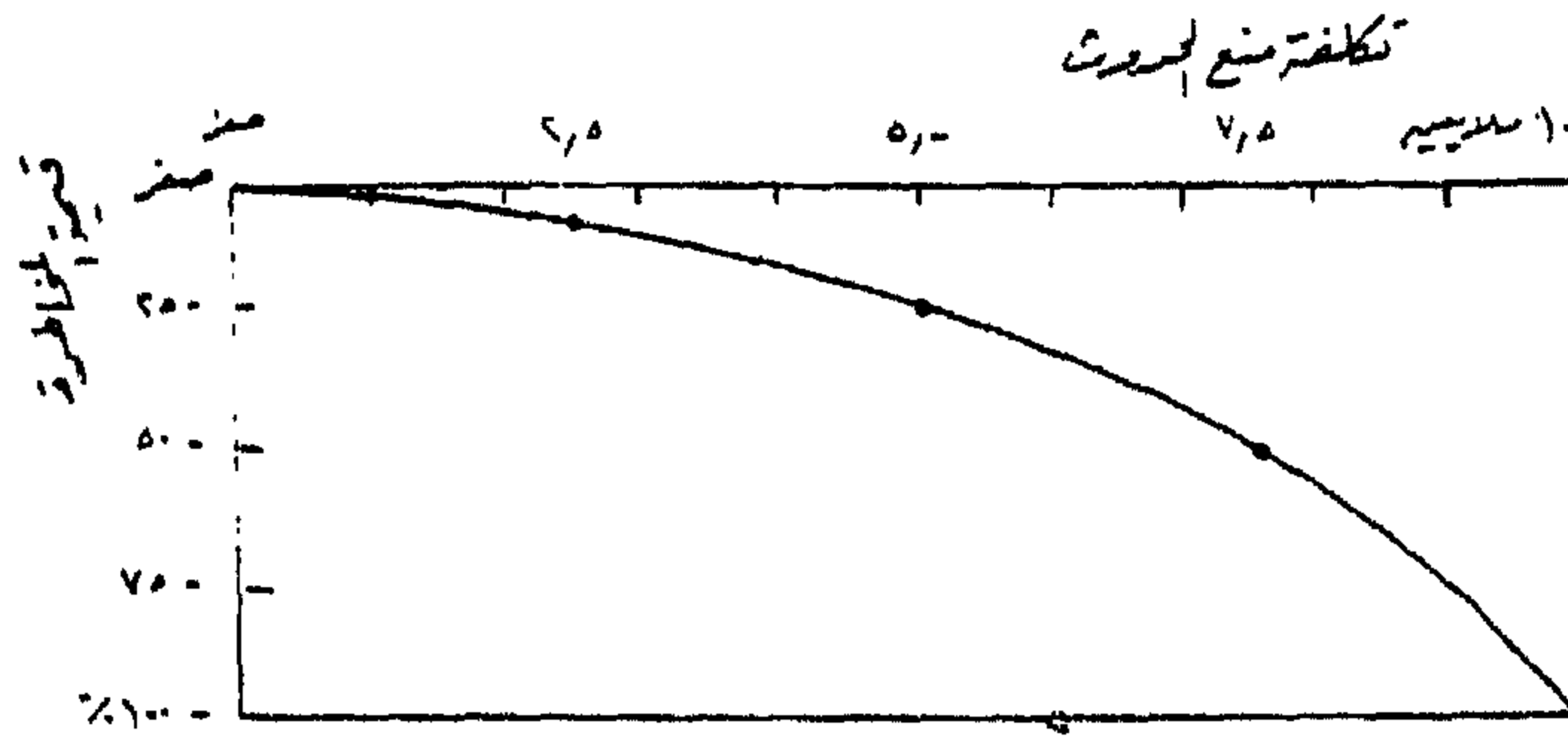
وأما الخياران الثالث والرابع فالهدف من اختيارهما هو إلغاء فرص حدوث النتيجة الثالثة والرابعة - انهيار محلى أو انهيار كامل - ويظهر هذا فى شكل (٨ / ٣) فى صورة أصفار فى مكان احتمال حدوث النتائج (ن ٣ ، ٣) ، (ن ٤ ، ٣) وكذلك ، (ن ٤ ، ٢) ، (ن ٤ / ٤) .

وتظهر تكلفة كل خيار فى العمود الثالث بحيث تظهر تكلفة الخيار نفسه فى الصف المقابل للنتيجة الأولى - أى أمام (ن ١ ، ١) ، (ن ٢ ، ١) ، (ن ٣ ، ١) ، (ن ٤ ، ١) - لأن النتيجة الأولى لا تكلف شيئاً إلا تكلفة الخيار نفسه ، ويلاحظ ارتفاع تكلفة الخيار الثالث لأن هذه التكلفة تشمل نقص قيمة المبنى نتيجة عدم استخدام أجزاء منه بسبب وضع دعائم رأسية دائمة حول الأعمدة .

وبحساب حاصل ضرب تكلفة كل نتيجة فى احتمال حدوثها وتجميع ذلك لكل خيار على حدة ، يتضح أن الخيار الثانى هو أقلها تكلفة كما يظهر فى شكل (٨ / ٢) - العمود الرابع .

ويلاحظ فى هذا المثال أن الترجيح بين الخيارات كان على أساس اقتصادى ولم يتم أخذ المخاطر فى الاعتبار ، كما يلاحظ تقارب تكلفة الخيارات المختلفة مما يجعل نتيجة التقويم تتأثر إلى حد كبير بالاحتمالات الموضوعية لكل نتيجة من النتائج ، فمثلاً لو كان احتمال حدوث النتيجة الرابعة للخيار الأول (ن ١ ، ٤) هو ٤ ٪ بدلاً من ٧ ٪ لأصبح هذا الخيار هو أقل الخيارات تكلفة ، وبالعكس لو كان احتمال حدوث النتيجة الرابعة للخيار الثانى هو ٥ أو ٦ ٪ بدلاً من ٤ ٪ لما أصبح هذا الخيار أقلها تكلفة .

ولكى يمكن أخذ تأثير المخاطر فى الاعتبار عند التقويم فلا بد من الاستعانة بنظريات الاحتمالات الخاصة بتحليل القرار (Decision analysis) وذلك بتحويل تكلفة كل نتيجة من قيمة نقدية (Monetary Value) إلى قيمة مخاطرة (Utility value) وذلك ثلاثة قيم أخرى لرسم المنحنى - ثم يقسم مدى التكلفة (عشرة ملايين) إلى أربعة أقسام



تكاليف منع الحدوث	تكاليف منع الحدوث	احتمالات الحدوث
صفر	صفر	صفر
٢٥	٢٥	٠.٢٥
٥٠	٥٠	٠.٥٠
٧٥	٧٥	٠.٧٥
١٠٠	١٠٠	١.٠٠

شكل (٨ / ٣) بناء العلاقة بين قيمة المخاطرة وتكلفة منع الحدوث

على النحو التالي - راجع مرجع (٢) - :

١ / ٢ / ٢ - أخذ المخاطر في الاعتبار عند التقويم :

عند اختيار خيار معين فهناك مخاطرة أن تحدث خسارة عند حدوث نتيجة ما من نتائج هذا الخيار - انهيار سقف مثلاً وهو يمثل خسارة قدرها ١٠ مليون جنيه مثلاً - ولتحويل القيم النقدية إلى قيم مخاطرة نفترض قيمة مخاطرة مقابلة لحدوث هذه النتيجة (ولتكن - ١٠٠) مثلاً) وفي هذه الحالة تصبح قيمة المخاطرة صفراً عندما يكون احتمال حدوث هذه النتيجة الخطرة صفراً ، و (- ١٠٠) عندما يكون احتمال حدوثها ١٠٠ % .

ثم ترسم العلامة بين قيم المخاطرة للاحتتمالات المختلفة وبين أقصى تكلفة يمكن للمالك أن يتحملها لمنع حدوث هذه النتيجة الخطرة ، وحيث إننا نعلم قيمتين لهذه التكلفة - هاتين القيمتين هما : أن التكلفة تساوى صفراً في حالة ما احتمال حدوث النتيجة إذا كان صفراً ، وتساوى عشرة ملايين عندما يكون الحدوث مؤكداً - فالمطلوب الحصول على

ثلاثة قيم أخرى لرسم المنحنى ، ثم يقسم مدى التكلفة (عشرة ملايين) إلى أربعة اقسام (٢,٥ ، ٥ ، ٧,٥ مليون) ، ونجد أن احتمالات حدوث النتيجة الخطرة المقابلة لهذه الأقسام هي ١٠٪ ، ٢٥٪ ، ٥٥٪ بالترتيب (٢) - كما هو مبين فى شكل (٣ / ٨) - ثم يرسم منحنى العلاقة بين تكلفة منع الحدوث وقيمة المخاطرة ، وهذا المنحنى يستعمل لحساب قيم المخاطرة فى المثال السابق ، وذلك بتحويل القيم الموجودة فى العمود الثالث - تكلفة النتيجة - إلى قيم مخاطرة باعتبار أن تكلفة النتيجة هي تكلفة منع الحدوث ، ثم الحصول على قيمة المخاطرة المقابلة لها من المنحنى ، وتظهر قيم المخاطرة فى العمود الخامس فى شكل (٢ / ٨) ، وبضرب قيم المخاطرة فى احتمالات الحدوث لكل حالة والتجميع نحصل على تكلفة كل خيار من الخيارات ، مع أخذ المخاطرة فى الاعتبار كما هو مبين فى العمود السادس شكل (٢ / ٨) .

ونجد فى هذه الحالة أن الخيارات تمايزت وظهرت فروق كبيرة بينها بعكس الحالة الأولى التى كان التقييم فيها على أساس اقتصادى فقط ، فنجد أن أنسب الخيارات هو الخيار الرابع لأن المخاطرة فيه أقل مما يمكن ، بينما نجد أن قيمة المخاطرة فى الخيار الأول عالية جدا وغير مقبولة .

ويجب عند بناء العلاقة بين قيم المخاطرة وتكلفة منع الحدوث. الأخذ فى الاعتبار المخاطر التى يتعرض لها كل طرف على حدة ، فالمخاطر التى يتعرض لها المالك غير تلك المخاطر التى يتعرض لها الاستشارى أو المقاول ، فمثلا تصبح المخاطرة شديدة إذا كان الأمر يتعلق بالأرواح حتى وإن كانت احتمالات الحدوث ضئيلة ، وسمعة الاستشارى المهنية عامل مهم جداً ، وتعرضها للاهتزاز مخاطرة عالية بالنسبة له حتى وإن كان هو شخصيا غير متداخل فى النواحي المالية لنتائج أى خيار من الخيارات .

وهناك ميزة أخرى فى استعمال قيم المخاطرة بدلا من القيم النقدية للخيارات المختلفة ، وهذه الميزة هي الأخذ فى الاعتبار النواحي غير المادية فى النتائج المترتبة على أى خيار من الخيارات .

١ / ٣ - وضع خطة العمل :

إذا كانت نتيجة تقييم الحالة هو الشروع فى الإصلاح ، فيمكن أن نخطو إلى الخطوة الثالثة وهي وضع الخطة وتحديد أولويات العمل ، فالأولويات فى حالة العيوب التى تظهر

أثناء الإنشاء مثلا غير الأولويات في حالة العيوب التي تظهر بعد استعمال المبنى ،
والأولويات عند ظهور عيوب أثناء التنفيذ تحددها طبيعة العمل بالموقع وطبيعة العيوب نفسها
والأحوال الجوية .

فمثلا شروخ الخرسانة في الشهور الثلاثة الأولى يجب أن تعالج بسرعة للحصول
على إصلاح فعال ولا يجوز تأجيلها ، أما شروخ الأعضاء الخرسانية التي تعرضت لأحمال
زائدة بعد استعمال المبنى فتستغرق بعض الوقت ولا يصبح إصلاحها أولوية أولى خاصة إذا
أمكن رفع الأحمال عن هذا العضو ؛ لأن هذا النوع من الإصلاح يماثل الأعمال الإنشائية
المتخصصة والتي تحتاج إلى عمل رسومات تنفيذية وكراسة شروط ومواصفات وبرنامج
للعمل ، أما في حالة الشروخ التي تظهر بعد مدة طويلة - كشروخ صدأ الحديد مثلا -
فتحديد أولويات العمل يعتمد على مدى انتشار الشروخ ومدى خطورتها وتأثيرها على
قدرة العضو على تحمل الأحمال ، وقد يستدعى الأمر إخلاء المبنى والشروع في الإصلاح
فورا في حالات معينة ، أما في حالات أخرى فقد يتم عزل السطح أو دورات المياه أولا
قبل الشروع في الإصلاح .

١ / ٤ - اختيار طريقة الإصلاح وتنفيذها :

والخطوات الرابعة والخامسة والسادسة في شكل (٨ / ١) سنتناولها بالتفصيل في
هذا الباب ، حيث سيعتمد اختيار طريقة الإصلاح على طبيعة العيب ودرجة التصدع ،
والغرض من الإصلاح وأهمية المظهر ، وسهولة الوصول للعضو ، ومرونة الطريقة المقترحة
ومواءمتها للظروف (Adaptability) ، والتكلفة ، والظروف الجوية المحيطة إذا كان
الإصلاح خارجيا وظروف استخدام المكان إذا كان الإصلاح داخليا . وقد قسمت طرق
الإصلاح إلى طرق للإصلاح غير الإنشائي - الذي لا يزيد قدرة العضو على تحمل
الأحمال - وتشمل إزالة البقع والتلميح وإصلاح تساقط الخرسانة وتعشيشها أو إصلاح
الصدأ الخفيف لحديد التسليح ووقف تقدم الشروخ ، وطرق للإصلاح الإنشائي ، وتشمل
زيادة القطاع الخرساني للأعمدة والكمرات أو زيادة حديد التسليح الطولي أو الكانات أو
عمل طبقات إضافية للأسقف .

إن إعداد العضو للإصلاح قد يكون بسيطاً ولا يتطلب الأمر إلا إزالة الخرسانة المفككة
وتنظيف مكان الإصلاح ، وقد يكون معقداً مثل الإعداد للإصلاح تحت الماء ، ومن الطبيعي

أن يؤثر نوع العيب المطلوب إصلاحه على طريقة إعداد العضو ، فالشروخ تتطلب إعدادا مختلفا عن الإعداد فى حالة تساقط الخرسانة أو تعشيشها ، وإعداد العضو عموما يشمل إزالة كل الخرسانة المعيبة والمفككة حول صلب التسليح وحتى الوصول إلى الخرسانة السليمة ، وقد يتطلب الأمر استعمال معدات خاصة لقطع الخرسانة ، لأن الإصلاح لن يدوم إلا إذا تماسكت مادة الإصلاح مع الخرسانة السليمة ، ويشمل الإعداد كذلك تنظيف صلب التسليح تماما أو قطعه إذا أصبح لا يصلح ، ثم يتلى ذلك تنظيف منطقة الإصلاح تماما باستخدام الماء والهواء المضغوط أو مدافع الماء (Water jets) إذا لزم الأمر .

ويشمل التنفيذ السليم لطريقة الإصلاح خلط مواد الإصلاح بالنسب المحددة ، وحسن اختيار المعدات التى ستستخدم ، ودهان الأسطح التى ستوضع عليها مواد الإصلاح بمواد تزيد التماسك ، ثم وضع مواد الإصلاح ودمكها جيدا ونهوها ، وفى حالة الرغبة فى الوصول إلى أن يصبح لون المنطقة التى تعرضت للإصلاح مثل لون باقى العضو فلا بد من توصيف الركام والأسمنت المطلوب من حيث اللون ونسبة الخلط ، ولابد من توصيف طريقة نهو السطح كذلك ، والمعالجة الجديدة المستمرة لمنطقة الإصلاح أساسية للوصول إلى إصلاح سليم ولضمان عدم حدوث شروخ انكماش فى مونة الإصلاح .

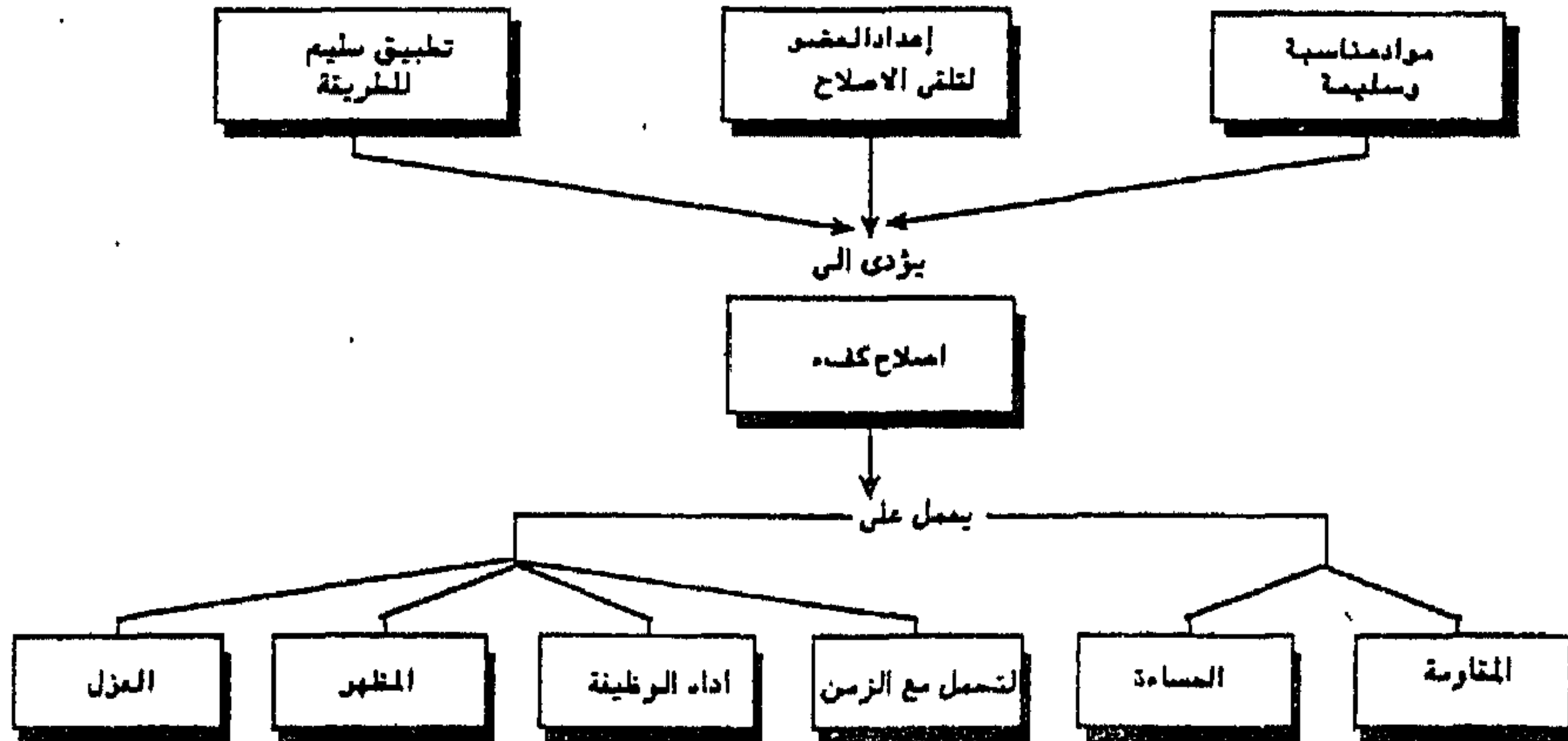
ويمكن تلخيص الخطوات الثلاثة الأخيرة فى أنه للحصول على إصلاح متقن ودائم للخرسانة ، فلا بد أن نراعى أربعة أمور :

- ١ - إزالة الأسباب الأصلية التى أدت إلى التدهور .
 - ٢ - إعداد العضو جيدا لتلقى الإصلاح .
 - ٣ - اختيار سليم لطريقة الإصلاح ومواد الإصلاح المستخدمة .
 - ٤ - تطبيق جيد لهذه الطريقة ومعالجة للمنطقة المستصلحة لمدة كافية .
- وإذا تم اتباع الخطوات الستة للإصلاح - شكل (٨ / ١) - وتم تنفيذ كل خطوة بدقة ، فإن الإصلاح سيكون دائما وقويا بإذن الله ، أما إذا كان التشخيص غير شامل لكل الأسباب أو كان إعداد العضو متسرعا وقاصرا ، أو كانت طريقة الإصلاح غير مناسبة ، أو مواد الإصلاح غير متوافقة مع الخرسانة القديمة ، أو كانت طريقة التنفيذ غير موصقة بدقة ولا يقوم بها متخصصون ، فإن الغالب أن يكون الإصلاح جهدا ضائعا ومالا مهدرا ، ويحتاج هو بدوره إلى إصلاح جديد .

٢ - الغرض من الإصلاح

إن تحديد الغرض من الإصلاح فى ضوء الاعتبارات الاقتصادية - التكلفة - وفى ضوء الاعتبارات المعمارية - مظهر العضو وحجمه بعد الإصلاح - لابد منه ليتمكن اختيار أنسب الطرق للوصول إلى هذا الغرض ، فالغرض من الإصلاح قد يكون استرجاع قدرة العضو كما كانت ، أو تحسين بعض الخواص التى تقلل من احتمالات التشريح المستقبلى كما فى شكل (٨ / ٤) ، وأغراض الإصلاح يمكن تقسيمها إلى :

- ١ - استرجاع أو زيادة المقاومة (Strength) .
- ٢ - استرجاع أو زيادة الجساءة (Stiffness) .
- ٣ - تحسين التحمل مع الزمن (Durability) .
- ٤ - تحسين أداء الوظيفة (Function) .
- ٥ - تحسين مظهر الخرسانة (Appearance) .
- ٦ - تحسين العزل ضد الماء .
- ٧ - حماية صلب التسليح بمنع وصول مسببات الصدأ إليه .



شكل (٨ / ٤) الغرض من الإصلاح (١)

٣ - وسائل الإصلاح

ويمكن تقسيم وسائل الإصلاح المطلوبة للوصول إلى الأغراض السابقة إلى وسائل إصلاح غير إنشائي ووسائل للإصلاح الإنشائي ، ووسائل الإصلاح الإنشائي هي التي تخدم أغراض استرجاع أو زيادة المقاومة والجساءة ، أو بتعبير آخر هي التي تزيد قدرة العضو على تحمل الأحمال ، وهي إما إصلاح (repair) أى استرجاع المقاومة أو الجساءة التي نقصت بسبب تدهور الخرسانة ، أو تقوية Strengthening أى زيادة هذه المقاومة أو الجساءة .

أما إذا لم يؤد الإصلاح بعد إتمامه إلى زيادة قدرة العضو على تحمل الأحمال ، وإنما أدى إلى تحقيق غرض واحد من الأغراض الخمسة الباقية - من رقم ٣ إلى رقم ٧ فى القسم السابق - فيمكن تصنيفه تحت عنوان الإصلاحات غير الإنشائية ، وهي تشمل إزالة البقع والتمليح وإصلاح التعشيش - تحسين المظهر - وإصلاح تساقط الخرسانة وسد الشروخ وملئها - تحسين التحمل مع الزمن - وإصلاح صدأ الحديد البسيط - تحسين أداء الوظيفة .

٤ - الإصلاحات غير الإنشائية

والمقصود بها الإصلاحات التي لا تؤدي إلى زيادة قدرة العضو الخرساني على تحمل الأحمال ، وتشمل :

- أ - إزالة البقع والتعليل .
- ب - إصلاح تساقط الخرسانة .
- ج - إصلاح تعشيش الخرسانة .
- د - سد الشروخ وملئها : وتشمل :
 - * دهان الشروخ .
 - * العلاج بالبخار Vacuum impregnation .
 - * الملء اليدوي Dry Packing .
 - * الثقب والحشو Drilling & plugging .
 - * الحقن بالإيبوكسي Epoxy injection .
 - * الحقن بالموونة Grouting .
 - * التشرب بالبوليمرات Polymer impregnation .
 - * الالتئام الذاتي Autogenous healing .
 - * التغطية بمادة مطاطة Flexible sealing .
- هـ - إصلاح صدأ الحديد .
- و - وقف تقدم الشروخ عن طريق :
 - * التزير Stitching .
 - * التثبيت Crack arrest .

وقبل الحديث عن كل نوع من هذه الانواع سنتعرض لبعض المواضيع المشتركة مثل تحديد مدى انتشار العيب في العضو الذي سيتم إصلاحه تحديداً شاملاً ، وإعداد العضو للإصلاح والذي يجب أن يسبق الشروع في الإصلاح ، حيث يجب التأكد من أن كل الخرسانة الضعيفة والمعيبة وكل نواتج الصدأ قد أزيلت حتى الوصول إلى الخرسانة السليمة ، فجودة أى إصلاح من جودة الطبقة التى يلتصق بها ، كما لا بد من الحديث عن بعض المتطلبات العامة فى مواد الإصلاح المستخدمة وبعض العوامل التى تؤثر فى اختيار طريقة الإصلاح .

وسنتعرض عند الحديث عن طرق قطع الخرسانة أو طرق الإصلاح المختلفة لطرق ومعدات لم تتوافر فى بلادنا بعد ، ولكن تعريف المهندس بهذه المعدات وشرح الأساس العلمى لتلك الطرق يعرفنا أولاً ما يجرى فى البلاد التى سبقتنا من طرق حديثة للإصلاح ، ويسهل ثانياً دخول هذه المعدات والطرق سوق العمل ، ويساعد ثالثاً الأخصائى فى كتابة شروط ومواصفات عمليات الإصلاح الكبيرة التى قد تتطلب دخول شركات أجنبية .

٤ / ١ - اعتبارات عامة :

٤ / ١ / ١ - تحديد مدى انتشار العيب فى العضو :

هناك بعض العيوب الظاهرة والتى لا يوجد عناء كبير فى تحديد مدى انتشارها فى العضو المراد إصلاحه مثل البقع والتميلح وتساقط الخرسانة والشروخ التى تصل إلى السطح ، أما التعشيش وصدأ الحديد فقد يكون الجزء الظاهر منها أقل من المخفى ، ومهما كانت الاختبارات التى تجرى على المنشآت الخرسانية التى تعرضت للتصدع بغرض تشخيص الحالة الكاملة للمنشأ - انظر الباب الخامس - فهى لا يمكن أن تحدد كل الأماكن المحتاجة إلى إصلاح ، لأن ذلك ليس هو الهدف من هذه الاختبارات وإنما الهدف منها تحديد أسباب ودرجة التصدع تحديداً عاماً ، وتزويد المهندس الأخصائى بالمعلومات اللازمة لإعداد كراسة شروط ومواصفات الإصلاح ، ولهذا فيجب اختبار كل الأعضاء الخرسانية التى سيتم إصلاحها من التعشيش (Honeycombing) اختباراً كاملاً بالمطرقة (Hammer test) لتحديد الأماكن التى بها فراغاً فى داخل الكمرة وتلك التى بها خرسانة ضعيفة ، وتوضع علامات واضحة على هذه المناطق الضعيفة الإضافية التى وجدت باستخدام اختبار المطرقة حتى لا تغفل أثناء الإصلاح .

أما بالنسبة للأعضاء التي تعرضت للصدأ فهناك الاختبار الكهربائي الذي سبق شرحه في الباب الثالث والذي يحدد مدى انتشار الصدأ في الأسياخ التي لم تظهر عليها أعراض الصدأ بعد ، وذلك بقياس قوة التيار الكهربائي المصاحب للصدأ .

٤ / ١ / ٢ - إزالة الخرسانة المعيبة وتنظيف الأسياخ الصدأ : .

يجب إزالة كل الخرسانة المعيبة والمفككة والتي في حالة سيئة ، كما يجب إزالة كل نواتج صدأ الحديد وتنظيف الأسياخ تماماً .

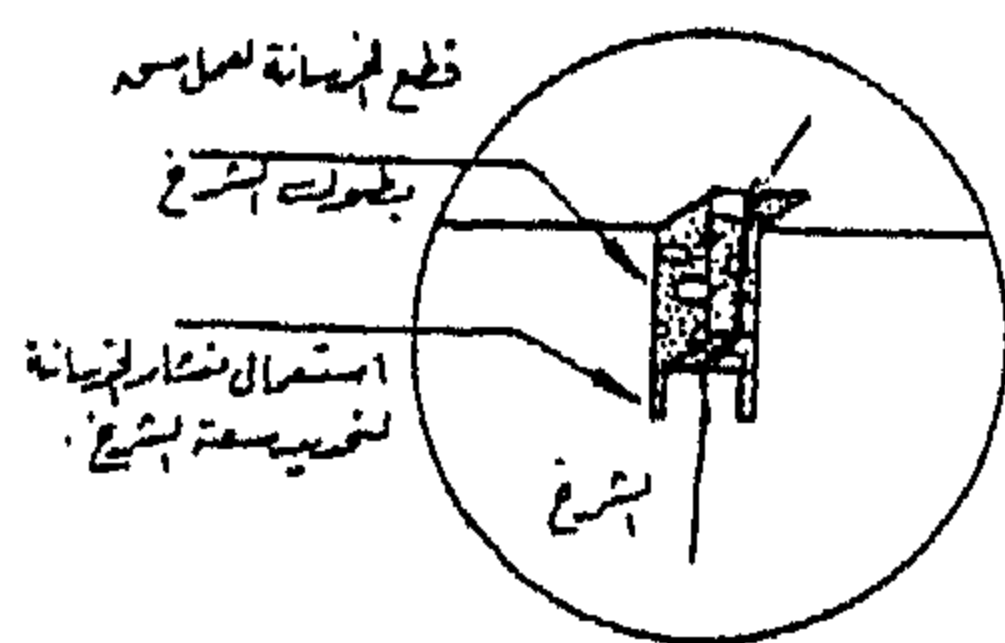
أ - إزالة الخرسانة المعيبة وقطعها (شكل (٨ / ٥) :

المتطلبات الأساسية لقطع الخرسانة يمكن تلخيصها فيما يلي :

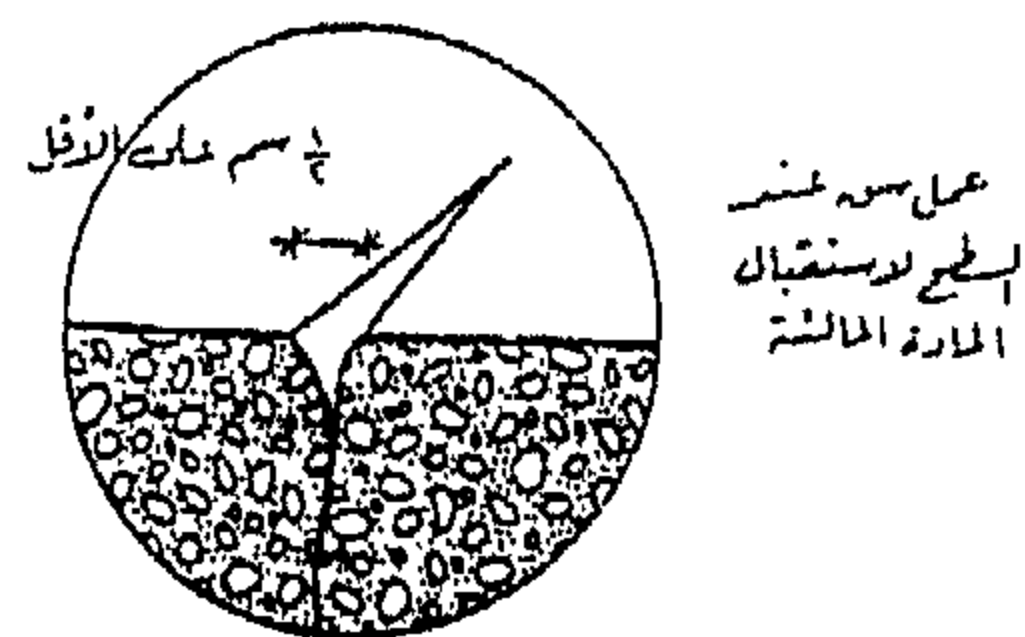
- ١ - إزالة كل الخرسانة المعيبة أو المفككة وحتى الوصول إلى القلب السليم .
- ٢ - إزالة كل الخرسانة حول الأسياخ وبكامل طول الجزء الصدأ من السبخ - وذلك في حالة وصول التحول الكربوني إلى أسياخ الأركان أو في حالة وجود نسبة عالية من الكلوريدات في الخلطة - شكل (٨ / ٦ / هـ) .
- ٣ - الحصول على حواف قوية للأجزاء المقطوعة ، أى لا تكون زوايا الحواف بعد القطع حادة جداً فتتكسر .
- ٤ - إزالة الأتربة وطبقات الدهان أو الزيوت من على سطح الخرسانة المقطوعة للحصول على سطح تماسك نظيف تماماً .

تشكيل القطع :

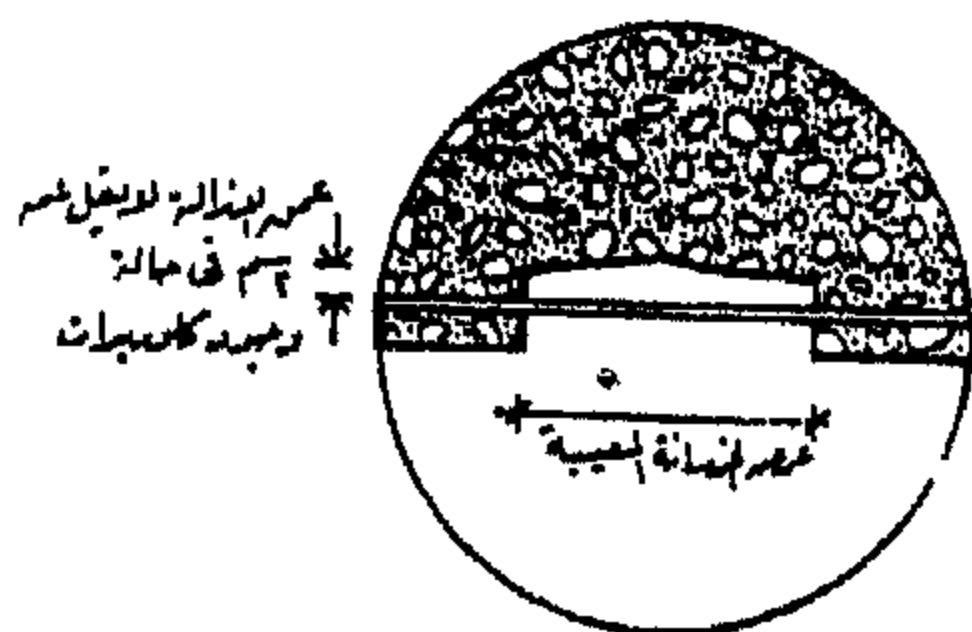
عند الرغبة فى سد الشروخ الرفيعة سطحياً يتم توسعة الشرخ بالمنشار أو الأزميل على هيئة رقم (٧) - شكل (٨ / ٦ / أ) - أما فى حالة قطع الخرسانة لملء الشروخ السطحية العريضة بالمونة يدوياً - قسم (٤ / ٥ / ٢ / ٢) - فيعمل القطع بزوايا حادة لمنع تساقط المونة - شكل (٨ / ٦ / ح) - أما فى حالات سد الشروخ الحية بمادة مطاطة - قسم (٤ / ٥ / ٢ / ١٠) - أو إصلاح صدأ الحديد فى مساحات كبيرة فيستحسن استعمال المنشار الكهربائى لتحديد عرض الشق فى الحالة الأولى - شكل (٨ / ٦ / د) - وللحصول على حواف قوية قائمة الزوايا فى الحالة الثانية ، ولا تستعمل المطرقة اليدوية والأزميل إلا فى الحالات التى يصعب العمل فيها بالمنشار .



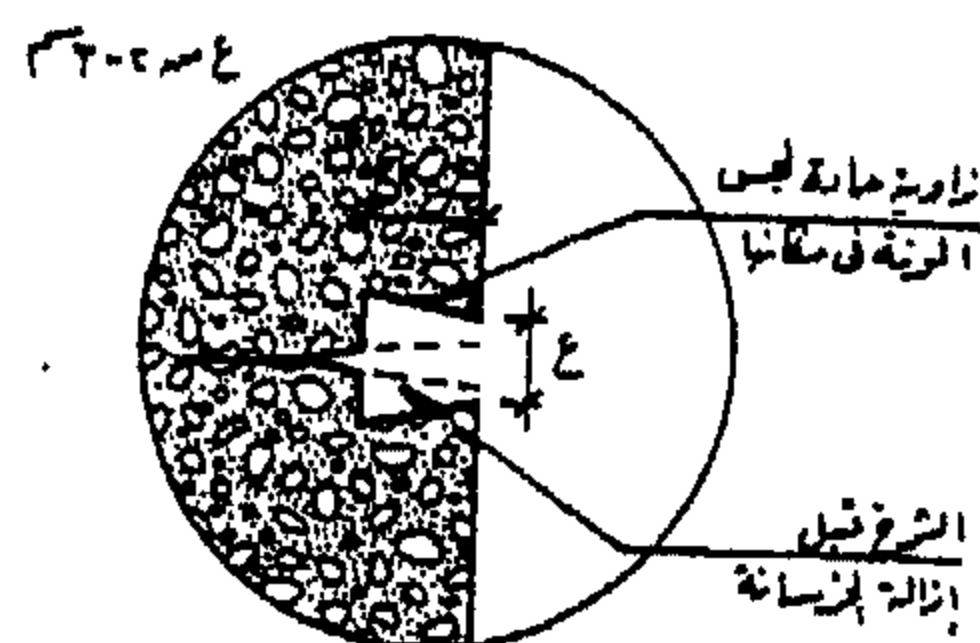
د- تغطية الشروخ الحية بمادة مطاطية (كلافت لفواصل)



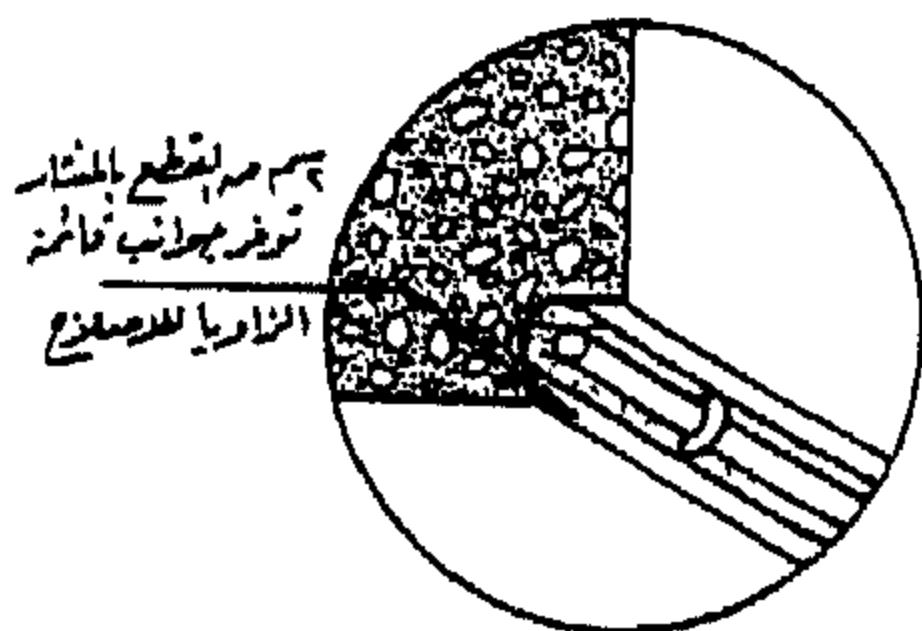
٢- سد الشروخ الرفيعة بمادة ملء الفواصل



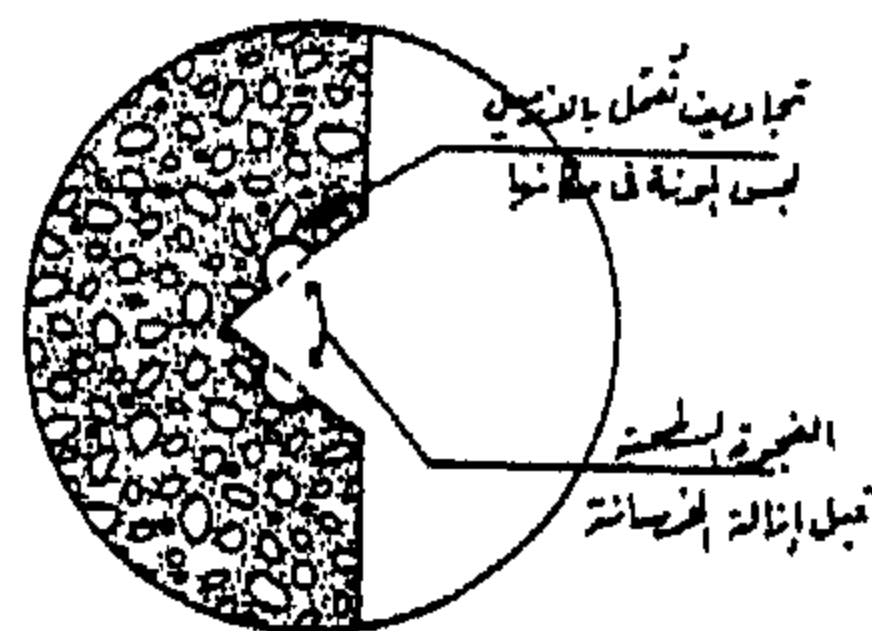
هـ- إستبدال الخرسانة المعيبة



ب- سد الشروخ الواسعة بطريقة الملاء الجاف



و- إصلاح جوانب الكمرات والأعمدة
الإصلاح في منطقة كبيرة أو الشروخ الحية



ج- سد الفجوات السطحية
الإصلاح محصور في منطقة صغيرة

شكل (٦ / ٨) تشكيل القطع حسب حجم ونوع الإصلاح

أما إزالة الخرسانة المفككة والمعيبة فتختلف الطريقة المستعملة في إزالتها حسب نوع العيب ودرجة التدهور وسهولة أو صعوبة الوصول إلى العضو المطلوب إصلاحه ، فإصلاح تعشيش الخرسانة يبدأ بإزالة كل الخرسانة المفككة ، وذلك باستعمال الطرق اليدوية - شكل (٨ / ٩ / أ) - إذا كان الوصول إلى مكان التعشيش سهلاً ، أو باستخدام مدفع المياه (water jet) إذا لم يكن سهلاً ، وإزالة الخرسانة المعيبة التي هاجمتها الكيماويات أو فتتها الصقيع أو حدث لها برى يتم بنفس الطريقة .

أما في حالة وجود صدأ في الحديد وتساقط الخرسانة السطحية ، فإن عمق الخرسانة المطلوب إزالتها ومساحتها يعتمد على سبب الصدأ كما يعتمد على مدى تدهور أسياخ التسليح ، فإذا كان سبب الصدأ وجود نسبة عالية من الكلوريدات داخل الخلطة الخرسانية ، فلا بد من إزالة كل الخرسانة المحيطة بأسياخ التسليح والكانات واستبدالها بخرسانة سليمة ، أما إذا كان مصدر الكلوريدات خارجياً - مياه البحر مثلاً - فيكفى إزالة الخرسانة السطحية التي توجد بها نسبة تركيز للكلوريدات أكبر من المسموح به وحتى الوصول إلى الخرسانة السليمة ، أما إذا كان سبب الصدأ هو التحول الكربوني للخرسانة السطحية ، فمن غير المحتمل أن الخرسانة في قلب العضو الخرساني - خلف الأسياخ - تكون قد تحولت كربونياً ، ولذلك فإن إزالة الخرسانة خلف الأسياخ غير مطلوبة ، ويكفى إزالة الخرسانة حتى منتصف سمك الأسياخ ، ولكن إذا وصل التحول الكربوني إلى أسياخ الأركان - وهو عادة يكون أسرع عند الأركان والشروخ - انظر شكل (٢٦ / ٤) بالباب الرابع - فيجب إزالة الخرسانة خلف هذه الأسياخ بعمق يسمح باستبدالها بخرسانة جديدة توفر الحماية لحديد التسليح .

ب - تنظيف أسياخ الصلب :

تعتمد الدرجة المطلوبة لتنظيف الأسياخ على ظروف كل حالة ، ففي حالة الصدأ الذي سببته الكلوريدات يجب إزالة كل أثر للصدأ من على الأسياخ تماماً ، وذلك باستخدام الرمال المندفعة (Sand blast) أو مدفع المياه - ذو السرعة العالية جداً .

أما في حالة غيبة الكلوريدات وسهولة الوصول إلى الحديد ، فإن الفرش السلك الكهربائي العادية تكون كافية لتنظيف الصلب - انظر شكل (٧ / ٨) بملحق الألوان .

وفي حالة استخدام مواد الإصلاح الراتنجية وخاصة إذا كان الغطاء الخرساني

صغيرا ، فإن مستوى تنظيف الصلب يجب أن يكون مرتفعاً ويقارب المستوى المطلوب عند إعداد المنشآت الحديدية للدهان .

وفى حالة تدهور الصلب للدرجة كبيرة واستخدام الرمال المتدفعة لتنظيفه أو فى حالة استعمال شمعة قطع الخرسانة لقطعها وقطع الصلب ، فلا بد من تدعيم - سند - العضو الخرساني الجارى إصلاحه والأعضاء الأخرى التى يقوم بحملها ؛ لأن قدرة العضو على تحمل الأحمال ستقل بدرجة كبيرة أثناء فترة الإصلاح - شكل (٨ / ٨) .

٤ / ١ / ٣ - طرق إزالة الخرسانة المعيبة وقطعها :

طرق إزالة الخرسانة المعيبة وقطعها - وقطع الصلب إذا لزم الأمر - متعددة ، ويمكن تقسيمها إلى طرق يدوية وطرق تعتمد على معدات خاصة ..

أ- الطرق اليدوية :

وهى إما باستخدام المطرقة والأزميل - استخدام النحاتين - شكل (٨ / ٩ / أ) - وهى طريقة بطيئة جداً ، ويجب أن يكون العضو المراد إعداده يسهل الوصول إليه ، أو باستخدام المطرقة الكهربيائية (Power hammer) - شكل (٨ / ٩ / ب) - وهى وإن كانت أسرع من الطريقة الأولى إلا أن الضوضاء التى تصدر عنها تكون شديدة ويصعب استخدامها خلف صلب التسليح ، ولقطع الخرسانة بزاوية قائمة وتحديد مسار القطع بدقة يستخدم المشمار الخاص بالخرسانة ثم النحت اليدوى .

ب- استخدام معدات خاصة :

وتشمل استخدام الرطل المتدفق (Sand Blast) أو مدفع المياه (Water jet) أو شمعة قطع الخرسانة (Thermio Lance) .

فإذا كان المطلوب هو إزالة الخرسانة وتنظيف وجه الصلب الخارجى فقط ، فإن استعمال الرطل المتدفق يكون أنسب - وخاصة فى الحوائط والأستقف - وهى طريقة سريعة وتزيل الأجزاء المعيبة من الخرسانة حتى تصل إلى الخرسانة السليمة - ولكن بعمق لا يعمدى سطح أسياخ التسليح كثيراً - كما أنها تزيل الصدأ من على الصلب - ولكن يلزم متفردة الصلب وتنظيفه بعدها .

أما إذا كان المطلوب قطع الخرسانة بأعماق كبيرة وخلف صلب التسليح ، فإن أسرع



شكل (٨ / ٨) صلب السقف (سدة) قبل الشروع فى إزالة الخرسانة المعيبة



ب - بالآلات الميكانيكية



أ - بالطرق اليدوية

شكل (٩ / ٨) إزالة الخرسانة المعيبة

وأنظف الطرق الحديثة هو استخدام مدفع المياه - إذا لم يكن هناك ما يمنع وجود مياه غزيرة في منطقة العمل - وهي أفضل الطرق خاصة في الحالات التي لا يراد فيها إزالة الصلب أو قطعه ؛ لأن المياه لن تؤدي إلى قطع صلب التسليح - الذي يجب قطعه بطريقة أخرى إذا كانت هناك حاجة لذلك ، وقد بدأ استعمال هذه الطريقة في الخارج في السبعينات واستخدمت بكفاءة في إزالة الخرسانة المعيبة بأعماق تصل إلى ٢٠ و ٣٠ سم في بعض الحالات ، كما استخدمت في كشف الركاب فقط لإضافة طبقات جديدة وهي تترك السطح نظيفاً خالياً من الأتربة وإن كان في حالة رطوبة - فإما أن يترك ليجف أو يدهن بمواد تصلح للتماسك مع الأسطح الرطبة - ويصل ضغط المياه عند فوهة المدفع من ٣٠٠ - ٧٠٠ كجم / سم ٢ - ويلزم على الأقل ٤٠٠ كجم / سم ٢ لقطع الخرسانة - كما يصل معدل استهلاك المياه إلى ٥٠ لتر / دقيقة .

وشعلة قطع الخرسانة تستعمل لقطع الخرسانة بالحديد الموجود بها إلى الأعماق المطلوبة ، وتبلغ درجة حرارة اللهب بها ٣٥٠٠ م ، وهي درجة حرارة كافية لإذابة الخرسانة والطوب و صلب التسليح ، كما تستخدم شعلة قطع الخرسانة في عمل فتحات في الخرسانة وفي إزالة الأجزاء المعيبة - وبدون قطع - ولكن يجب ألا تستعمل في الحالات التي يراد المحافظة فيها على صلب التسليح أو في حالات وصل حائط جديد بآخر قديم وتحميل عضو جديد على عضو قائم ، حيث يفضل استخدام مدفع المياه ، كما يجب ألا تستعمل هذه المعدة أيضاً في الحالات التي يخشى فيها من اندلاع حريق أو عند وجود غازات قريية .

٤ / ١ / ٣ - رش السطح بالماء ودهانه :

بعد تنظيف السطح تماماً يجب رش السطح بحيث يتشبع بالماء ثم يترك ليجف لمدة ساعة أو ساعتين ، وذلك في حالة الإصلاحات التي ستستخدم فيها المونة الأسمنتية أو الخرسانة ، ويمكن الوصول إلى التشبع عن طريق رش السطح المطلوب إصلاحه لمدة ٢٤ ساعة أو ملء الفجوات الناشئة من إزالة الخرسانة بالخيش المبلل والذي يضاف إليه الماء كل فترة حتى لا يجف ولمدة ٢٤ ساعة .

ويجب أن يتوقف رش الماء ويرفع الخيش من الفجوات وذلك لمدة ساعة أو ساعتين - حسب درجة حرارة الجو - قبل البدء في إضافة مونة خرسانة الإصلاح ، ويمكن التأكد من جفاف السطح عن طريق تغير لونه من اللون الغامق إلى الفاتح حتى يجف كله .

ثم يدهن السطح بطبقة من المونة ذات المكونات المماثلة لمونة الإصلاح بالفرشاة ثم تدعك باليد أو تدفع تحت ضغط بحيث تغطي كل السطح المطلوب إصلاحه وتدخل في فجواته ، ويجب أن تكون طرية بدرجة كافية حتى يحدث ذلك ، وطبقة المونة يجب أن تكون طبقة رقيقة لا تزيد عن ٣ مم بأى حال من الأحوال ، وفي الأجواء الحارة الجافة قد يكون من الضروري ترطيب (Fogging) السطح ترطيبا خفيفا حتى لا يمتص ماء طبقة الدهان .

وتوضع مونة خرسانة الإصلاح بعد دهان المونة المبدئية مباشرة حتى يحدث التماسك المطلوب ، ولا تستعمل طبقة الدهان في الحالتين الآتيتين : الأولى عند الإصلاح بالحقن ، حيث تصبح هذه الطبقة غير ضرورية وعند الإصلاح بالركام الجاف (dry pack) لأنها تجعل مونة الإصلاح في هذه الحالة ذات محتوى ماء مرتفع وهو عكس المفروض فيها - انظر قسم ٤ / ٥ / ٣ / ٤ - وذلك يؤدي إلى زيادة الانكماش ويقلل التماسك بين مونة الإصلاح والخرسانة القديمة .

وبدلا من طبقة الدهان في الإصلاح بالركام الجاف ، فإن سطح الخرسانة القديمة يستحسن أن يكون مبللا ثم يرش عليه الأسمنت أو يدهن الأسمنت بفرشاة صغيرة وبكميات كافية فقط لتغطية السطح ، وبحيث يتغير لونها إلى الأغمق عند وصول الماء السطحي إليها ولا يترك أسمنت جاف على السطح ويزال قبل وضع مونة الإصلاح .

٤ / ١ / ٤ - بعض المتطلبات العامة في مواد الإصلاح المستخدمة :

إن المتطلبات الأساسية للإصلاح الجيد يمكن تلخيصها فيما يلي :

أ - التأكيد من إزالة كل الخرسانة المعيبة وكل نواتج الصدأ .

ب - التأكد من حدوث تماسك تام بين الخرسانة / المونة الجديدة والخرسانة القديمة .

ج - التحقق من أن الخرسانة / المونة المستخدمة في الإصلاح غير منفذة للماء - بقدر الإمكان .

د - التحقق من أن هناك توافقا (Comatibility) بين الخرسانة / المونة الجديدة والخرسانة القديمة .

وقد تم استيفاء المطلوب الأول في القسم السابق - قسم ٢ / ٣ - أما المطالب الثلاثة الباقية فهي متطلبات في مواد الإصلاح المستخدمة ، وهذه المواد رغم تنوعها فإنها عموما

فى حالة الإصلاحات غير الإنشائية إما أن تكون خرسانة أو مونة ، ولا تستعمل الخرسانة إلا إذا كان سمك الطبقات المعيبة المزالة كبيراً بحيث يستوعب الركام الذى تحتويه الخرسانة ، وهذا هو السبب فى أن معظم إصلاح الشروخ غير الإنشائية يتم باستعمال المونة ، وهناك قسمان رئيسيان للمونة المستعملة - انظر الفصل السادس - هما :

أ - المونة الأسمنتية .

ب - المونة الراتنجية .

والمونة الراتنجية تتكون من بوليمرات عضوية مع ركام صغير ، وتستخدم فى حالات خاصة وعندما يكون حجم الفجوات المطلوب ملؤها صغيراً ؛ نظراً لارتفاع ثمنها بالنسبة للمونة الأسمنتية ، ويجب عند استعمال المونة الراتنجية الأخذ فى الاعتبار معامل تمددها الحرارى والذى يتراوح بين ٢٥ - ٣٥ × ١٠ - ٦ أى ثلاثة أضعاف معامل التمدد الحرارى للخرسانة والمونة الأسمنتية الذى يتراوح بين ٧ - ١٣ × ١٠ - ٦ ، ويؤدى هذا الفارق الكبير فى معامل التمدد الحرارى بين المونة الجديدة والخرسانة القديمة إلى إجهادات حرارية عالية عند ارتفاع وانخفاض درجات الحرارة ، كما قد يؤدى إلى تساقط الغطاء الخرسانى - مونة الإصلاح - إذا لم تكن مثبتة ميكانيكياً فى الخرسانة الأصلية .

أما المونة الأسمنتية فهى الأكثر استخداماً فى الإصلاحات غير الإنشائية ، ويجب أن تتوافر فيها المتطلبات السابق ذكرها وهى تماسكها مع الخرسانة القديمة وتوافقها معها وعدم نفاذيتها للماء ، فتماسكها مع الخرسانة القديمة يتحقق بتنظيف سطح الخرسانة تماماً من الأتربة أو الزيوت أو الدهانات ، ثم دهان السطح بمواد لاصقة قبل وضع المونة الجديدة ، وعدم نفاذية المونة للماء يعتمد على مكوناتها وعلى كثافتها (Density) ، كما يمكن زيادته باستعمال الإضافات أو بدهانها بطبقات عازلة للماء ، أما توافقها مع الخرسانة القديمة فهو ذو شقين ، التوافق الحرارى وهو متحقق حيث إن معامل التمدد الحرارى للمادتين متقارب ، والتوافق فى القوة وهو الذى يجب أن يولى أخصائي الإصلاح عناية خاصة ، وضعف المونة بالنسبة للخرسانة القديمة يعنى ضعف القطاع - وخاصة إذا كان حجم الخرسانة المزالة كبيراً - كما يعنى غالباً أن نفاذية المونة للماء أكبر من نفاذية الخرسانة وكلاهما غير مطلوب ، ومن الناحية الأخرى فإذا كانت المونة أقوى من الخرسانة القديمة فإن الانفصال قد ينشأ بينهما بعد الإصلاح ، وفى مثل هذه الحالات يجب استعمال شبكة من الحديد المجلفن أو غير القابل للصدأ ملحومة فى الخرسانة القديمة لتلافى الانفصال

بينهما ، ويجب ألا ننسى التوافق فى محتوى الأسمنت وفي نسبة م / س - ماء : أسمنت - حتى لا يحدث انكماش يؤدي إلى حدوث شروخ عند أطراف المونة الجديدة ، ويستحسن أن يكون محتوى الأسمنت والماء فى المونة أقل ما يمكن مع عدم الإضرار بالقابلية للتشغيل .

٤ / ١ / ٥ - عوامل تؤثر فى اختيار طريقة الإصلاح :

هناك العديد من العوامل التى يجب أن تؤخذ فى الاعتبار عند اختيار طريقة الإصلاح ومنها : تأثير الظروف المحيطة على طريقة الإصلاح وتأثيرها بها ، وتأثير الجو المحيط ، واعتبارات الأمان ، والاعتبارات الخاصة بتحمل مواد الإصلاح مع الزمن ومقاومتها للحريق ومظهرها ، وكذلك سهولة الوصول للعضو ومدى التدهور الحادث وأسبابه ، وفيما يلى سنلقى الضوء على بعض هذه العوامل :

أ - تأثير الظروف المحيطة على أعمال الإصلاح - شكل (٨ / ١٠) - :

قبل اختيار طريقة الإصلاح ووضع خطة الإصلاح لابد من أخذ العوامل التالية فى الاعتبار :

١ - هل المبنى خالى ويمكن العمل كل الوقت وتخزين كل المواد المطلوبة وتنظيم العمل بدون عوائق ، أم أن استخدام جزء أو كل المنشأ يحتم العمل على مراحل ويحد من وقت الوصول إلى الأعضاء المعيبة أو المساحة المسموح فيها بالعمل ؟

٣ - هل استعمال المنشأ - مصنع مثلاً أو معمل - سيؤدى إلى انفعالات أو اهتزازات أو صدمات تحدث للأعضاء الجارى إصلاحها وتفسد الإصلاح قبل انتهائه ؟

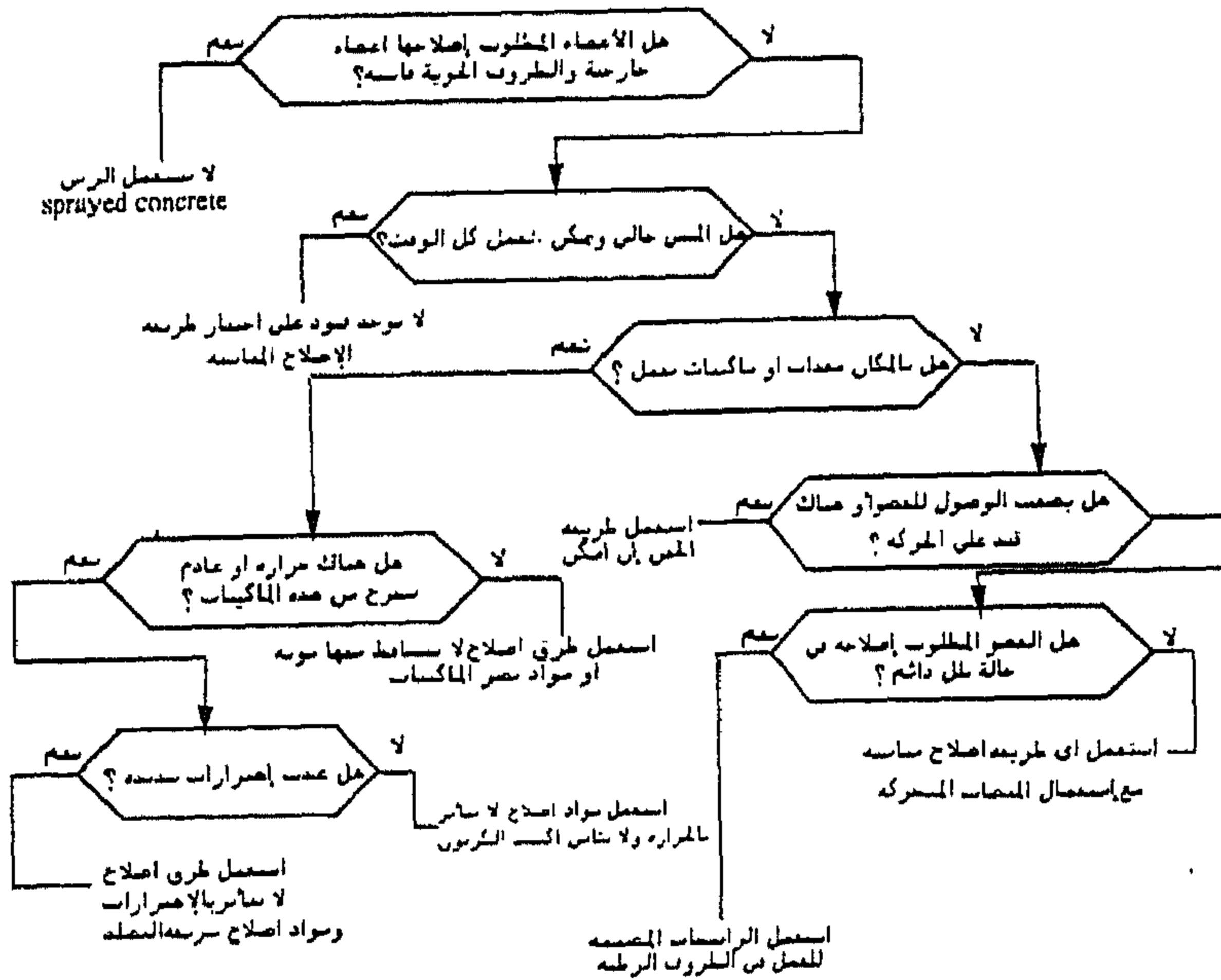
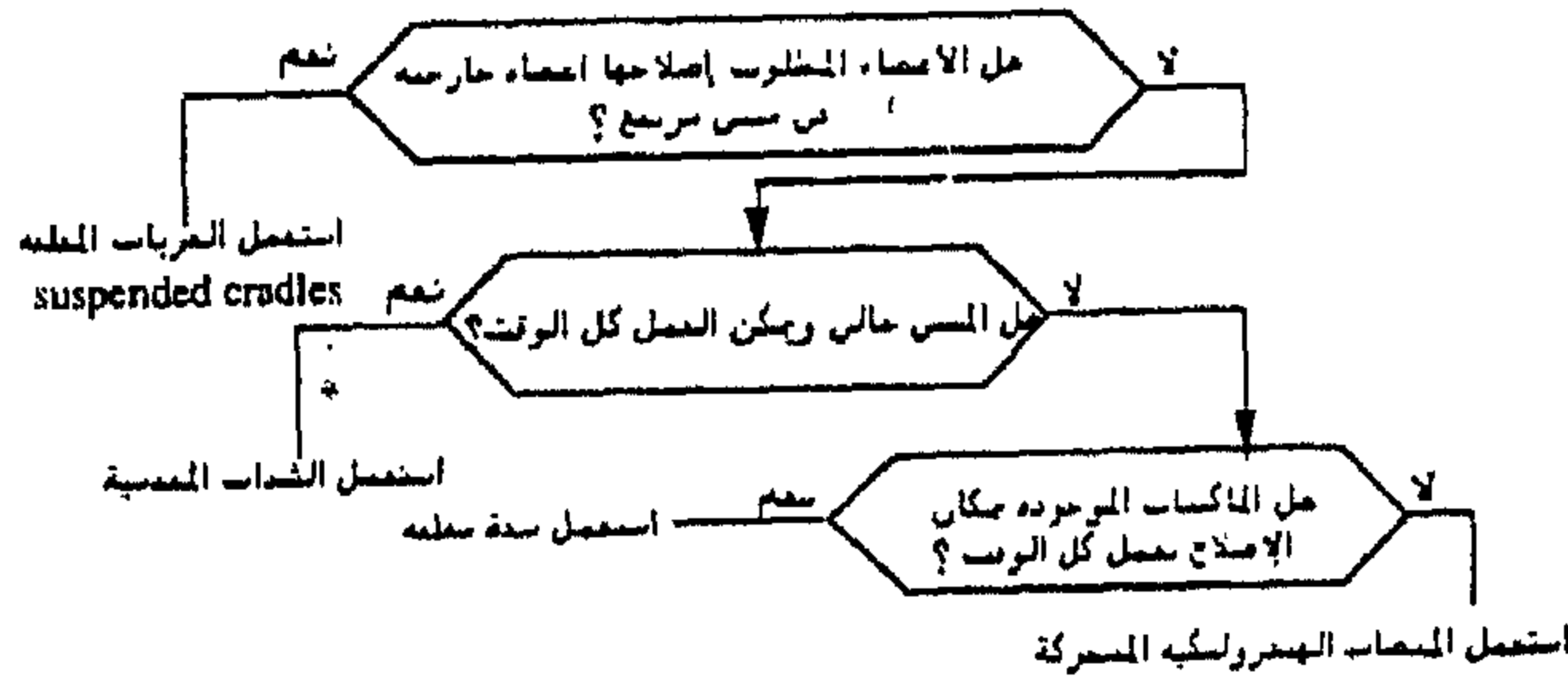
٣ - هل المعدات أو الماكينات الموجودة فى مكان الإصلاح تعمل طول الوقت بحيث يصبح من الضرورى الوصول إليها وصيانتها أثناء العمل بالإصلاح ؟

٤ - هل ستتأثر أعمال الإصلاح بالحرارة أو الأبخرة أو تطاير الزيوت من المعدات والماكينات التى تعمل أثناء الإصلاح ؟

٥ - هل هناك مشكلة فى الوصول إلى العضو المطلوب إصلاحه ؟ هل هناك ما يحد من الحركة من ناحية ارتفاع السقف أو مساحة مكان العمل بحيث تصبح بعض طرق الإصلاح غير ممكنة ؟

واستخدام الشدات المعدنية الثابتة - إذا أمكن ذلك - تتيح بطبيعة الحال أحسن طرق الوصول للعضو سواء لإصلاحه أو للإشراف على أعمال الإصلاح - انظر شكل (٨ / ١١) - ولكنها يمكن أن تكون مكلفة جدا إذا كانت الأعضاء المعيبة هي أعضاء خارجية لمبنى مرتفع جدا ، وفي هذه الحالة تصبح العربات المعلقة (Suspended cradles) أرخص كثيرا ، كما يصبح استخدام المنصات الهيدروليكية (Hydraulic platforms) مفيدا جدا في أعمال الإصلاحات ذات الحجم الصغير أو عندما لا يكون عمل الشدات ممكنا لأن المكان يستعمل جزءا من الوقت .

التأثير الظروف المحيطة على الشدات المستخدمة



تأثير الظروف المحيطة على طريقة ومواد الإصلاح

شكل (٨ / ١٠) تأثير الظروف المحيطة على أعمال الإصلاح

٦ - هل هناك تسرب مياه مستمر ؟ يجب وقف هذا التسرب أو تحويله مؤقتاً حتى لا يؤثر على سلامة أعمال الإصلاح .

٧ - هل المعدات المستخدمة فى الإصلاح تحتاج إلى ترتيبات خاصة لنقلها أو رفعها أو وضعها فى مكان الإصلاح ؟ - على سبيل المثال الإصلاحات داخل الأنفاق أو بشر المصعد أو بالأدوار العليا فى المباني المرتفعة - وهل هناك حاجة لأعمال مؤقتة لهذا السبب ؟

٨ - هل الإصلاح يستدعى فك أو إزالة وسائل تثبيت أو أجزاء بارزة (Fixtures, Fit- tings) من الأعضاء التى سيجرى إصلاحها ثم إعادتها بعد انتهاء الإصلاح ؟ وهل الأمر يستدعى نقل أو فك ماكينات أو معدات مثبتة ؟ وإذا كانت بعض هذه الأشياء لا يمكن نقلها أو فكها وتتداخل مع أعمال الإصلاح فكيف يمكن العمل فى وجودها ؟

٩ - هل توفير مداخل ومخارج للجمهور أو سهولة المرور أو انتظام الإنتاج أو مثل هذه الأمور يستدعى العمل ليلاً فى عطلات نهاية الأسبوع أو فى فترات التوقف فقط ؟ وهل وجود المباني السكنية القريبة أو المستشفيات المحيطة أو أى أماكن أخرى حساسة سيستدعى وضع قيود على ساعات العمل ؟

ب - تأثير أعمال الإصلاح على المكان :

تتطلب أعمال الإصلاح إزالة كل الخرسانة المعيبة والمتفككة وكل الشحوم والزيوت والأتربة وتنظيف أسياخ الصلب من كل آثار الصدأ ، وتستعمل لهذا الغرض المعدات السابق ذكرها فى قسم (٢ / ٢) من أدوات كهربائية ورمال مندفعة ومدافع مياه وغيرها ، وهذه المعدات مزعجة وينتج عن عملها أنقاض من المواد الجارية إزالتها وأتربة نتيجة الاحتكاك ومياه غير نظيفة ، وقد يحتاج الأمر إلى وسائل خاصة لحماية المناطق المجاورة والناس والمكينات والمعدات والأثاث والمرور من تأثير هذه الضجة والأنقاض والأتربة والمياه .

كما أن أعمال الإصلاح نفسها قد تتداخل مع استعمال المنشأ أو مع استعمال الورش أو المعدات المجاورة ، ويجب عمل احتياطات خاصة عند استعمال بعض طرق الإصلاح كمدفع الخرسانة (Shotcrete or gunite) بسبب تطاير المونة والركام بسرعات عالية ، وحتى البياض بمونة الأسمنت أو الحقن بالإيبوكسى يسبب تساقط المواد الأسمتية أو

الإيوكسى التى تضر بالأشخاص والممتلكات .

ومن المؤكد أنه تلزم عناية خاصة أثناء أعمال الإصلاح لحماية التشطيبات المعمارية والأبواب والشبابيك ، وتلزم حماية أعمال الصرف من السدد أو الكسر ، وفى حالة الإصلاحات الكبيرة يجب حماية الأرصفة والشوارع ، كما يجب حماية الحدائق والمزروعات المجاورة من التلوث أو تساقط المونة والمواد الكيماوية .

جـ - تأثير الجو على أعمال الإصلاح :

تتأثر أعمال الإصلاح بالحرارة أو البرودة الشديديتين كما تتأثر بالأمطار والرياح العاصفة ، ويمكن أن تتوقف تماما فى الظروف الجوية القاسية إذا لم تتخذ الإجراءات الوقائية ، وتتأثر أعمال التحضير بدرجة أقل من أعمال الإصلاح نفسها وخاصة الإصلاح اليدوى - البياض - أو الإصلاح بالرش التى تتأثر بشدة بالعوامل الجوية .

وتتأثر المونة الراتنجية وأعمال الحقن بالبلل والبرد بصفة خاصة ، وفى درجات الحرارة المنخفضة تصبح المونة صعبة الاستعمال جدا إلا إذا كانت ذات تركيبة خاصة للأجواء الباردة ، ويحتاج الأمر استخدام مونة ذات تركيبة خاصة عندما يكون العضو المطلوب إصلاحه معرضا للبلل أو عند إجراء الإصلاحات الخارجية فى جو ممطر ، وتتأثر المونة الراتنجية أيضا بالحرارة الشديدة التى تؤدى إلى تصلدها بسرعة أكبر من اللازم .

وأكثر طرق الإصلاح تأثرا بالعوامل الجوية هى طريقة رش الخرسانة أو المونة ، لأنه يتم رش طبقات رقيقة السمك فتصبح الخرسانة فى هذه الحالة أشد تأثرا بالجو الحار أو الرطب أو الممطر من الخرسانة المستعملة فى المباني العادية ، ويجب فى هذه الحالة عمل وسائل حماية خاصة لمنع جفاف هذه الطبقات أو تجمدها أو زوالها من على أسياخ الصلب بفعل الأمطار أو الرياح ، والرياح الشديدة تعرقل عملية الرش ذاتها مسببة فقد كميات كبيرة من المونة أو الانفصال الحبيبي لها وخاصة عند استعمال الطريقة الجافة - انظر جزء الإصلاحات الإنشائية (قسم ٥ / ٣ / ١) من هذا الباب .

د - اعتبارات أمن عمال الإصلاح :

لا يتم الالتفات إلى اعتبارات الأمن كثيرا فى بلادنا إلا إذا كان العمل مع شركة أجنبية أو فى المشروعات الكبرى ، وهذا للأسف يسبب كثيرا من الإصابات التى يمكن تفاديها إذا أخذت هذه الاعتبارات بجدية وطبقت بحزم ، وفى حالة الإصلاح يجب

الاهتمام بالاعتبارات الآتية :

١ - حماية الأعين أثناء قطع الخرسانة أو استعمال الرمال المندفعة أو رش الخرسانة - شكل (٨ / ٩ / ب) .

٢ - حماية الأعين والجلد من الراتنجات التى تسبب حساسية فى الجلد أو إصابات للأعين .

٣ - الحماية من تساقط قطع الخرسانة عند قطعها .

٤ - حماية الشدات من الكتل الكبيرة .

٥ - صيانة جيدة لأجهزة الهواء المضغوط وإرشادات أمنية سليمة للعاملين عليها .

٦ - وأهم من كل ذلك توفير الشدات وإسقاطات السليمة والمتينة ، التى تتيح الوصول إلى منطقة الإصلاح بأمان والعمل عندها بأمان وتوفير وسائل الحماية من السقوط - شكل (٨ / ١١) .

٤ / ٢ - إزالة البقع والتلميح من على سطح الخرسانة (٣) :

١ - التلميح :

إزالة بللورات كربونات الكالسيوم من على سطح الخرسانة ممكن أن يتم باستعمال محلول مخفف من حامض المورياتيك (Muriatic acid) أو حامض الهيدروليك (Hydrochloric acid) بتركيز جزء من الحامض إلى ٥ - ١٠ أجزاء من الماء ، ثم يغسل السطح بعد ذلك مباشرة بالماء ، وفى حالة التلميح نتيجة أملاح أخرى فيمكن استعمال المحاليل التى تعادل هذه الأملاح ثم يغسل السطح بالماء .

٢ - بقع الصدأ :

إزالة بقع صدأ أجزاء الحديد المدفونة فى الخرسانة - وليس صلب التسليح - من على السطح يتم باستخدام محلول مكون من $\frac{1}{3}$ كجم من بودرة حامض الأكساليك (Oxalic acid) لكل جالون من الماء ، ولا يغسل السطح بالماء إلا بعد ساعتين إلى ثلاث ساعات ، وقد تحتاج البقع السيئة المظهر السطحية إلى استعمال المحلول عدة مرات ، أما البقع العميقة فقد تتطلب استخدام سترات الصديوم (Sodium Citrate) بتركيز جزء واحد إلى ستة



شكل (٨ / ١١) استخدام الشدات المعدنية في الوصول إلى سقف. أصابه الصدأ لإصلاحه

أجزاء من الماء ، وتعطى سترات الأمونيوم (Amonium citrate) نتائج أسرع ولكن يجب العناية بعدم تشويه الأسطح المصقولة ، و كحل بديل يمكن استعمال هيدروسلفات الصوديوم (Sodium hydrosulphate) بتركيز جزء واحد إلى ستة أجزاء من الماء ويترك لمدة ١٠ - ١٥ دقيقة فقط .

٣ - بقع الحريق :

وتزال بالحجر الخفاف (Pumice) أو الحصى والرمال ، والحل البديل هو حك السطح جيدا بقطعة من القماش مبللة بمحلول من فوسفات ثلاثي الصوديوم (trisodium phosphate) والجير الكلوريدي (Chlorinatedlime) .

٤ - تلون الخرسانة :

والحل الوحيد لتغير لون الجزء العلوي من الأعمدة والحوائط نتيجة زيادة نسبة الماء والمونة بها عند الهز والدمك هو علاج مصدر المشكلة ، ويتم ذلك باستعمال خلطة جافة جدا للجزء العلوي على أن يكون لها نفس نسب الخلط للأجزاء السفلية .

٤ / ٣ - إصلاح تساقط الخرسانة (Repairs Of spalled concrete) :

٤ / ٣ / ١ - أسباب العيب :

تساقط الخرسانة لعدة أسباب ، منها : ضعف الخرسانة وقلة تحملها مع الزمن - ضعف خواصها الميكانيكية - ومنها : تعرضها لظروف جوية قاسية أو بيئة محيطية مضرّة ، كما تساقط نتيجة صدأ الحديد .

٤ / ٣ / ٢ - الغرض من الإصلاح :

أولا لا بد من حماية الصلب الذى أصبح مكشوفاً بعد تساقط الغطاء الخرساني الذى كان يحميه ، ويعنى هذا استرجاع أبعاد القطاع الأصلية ، أما إذا كان الغطاء الخرساني قليلا جدا أصلا فحماية صلب التسليح تعنى زيادة أبعاد القطاع عن الأبعاد الأصلية - إذا كان ذلك ممكنا - فإذا لم يكن ممكنا فلا بد من العمل على تقليل نفاذية الخرسانة للماء لأقصى حد عن طريق الإضافات مثل البوليمرات أو الراتنجات أو عن طريق دهان سطح الخرسانة بطبقة غير منفذة للماء .

٤ / ٣ / ٣ - إعداد العضو للإصلاح :

يتم إزالة الخرسانة المفككة والمتدهورة بالكيفية والطرق المبينة فى قسم (٢ / ١) ، ومن المهم أن يزال الحجم الكافى من الخرسانة المفككة ، ومن الأفضل إزالة حجم أكبر من المطلوب عن إزالة حجم أقل من المطلوب وذلك حتى يكون الإصلاح شاملا .

ويجب العناية بصفة خاصة بإعداد الأعضاء التى تعرضت لمياه البحر أو المياه الجوفية أو أى مواد مضرّة بالخرسانة ، وكذلك الأعضاء التى بها نسبة عالية من الكلوريدات ، إذ يجب فى هذه الحالة إزالة كل الخرسانة المحتوية على أيونات ضارة ؛ لأنها لو تركت فهناك احتمال لحدوث أضرار مستقبلية ، وفى حالة تغلغل التدهور بعمق داخل العضو بحيث يصبح إزالة كل الخرسانة المعيبة غير عملى فلا بد من الأخذ فى الاعتبار احتمال حدوث عطب فى المستقبل^(٤) .

وبعد إزالة الخرسانة المفككة يجب تنظيف سطح الخرسانة السليمة والحديد تنظيفا تاما ، وإزالة كل الأتربة وأى مواد تمنع الالتصاق - مثل الشحوم والدهون - قبل الشروع فى الإصلاح .

٤ / ٣ / ٤ - أساليب الإصلاح :

تختلف أساليب الإصلاح فى هذ الحالة باختلاف المواد المستخدمة ، فهناك الإصلاح القائم على استخدام الأسمنت ، وهناك الإصلاح القائم على استخدام الراتنجات ، والإصلاح باستخدام الأسمنت قد يتطلب استخدام الخرسانة إذا كان الإصلاح كبيراً أو المونة فى حالات الإصلاحات الأصغر حجماً .

٤ / ٣ / ٥ - خطوات الإصلاح :

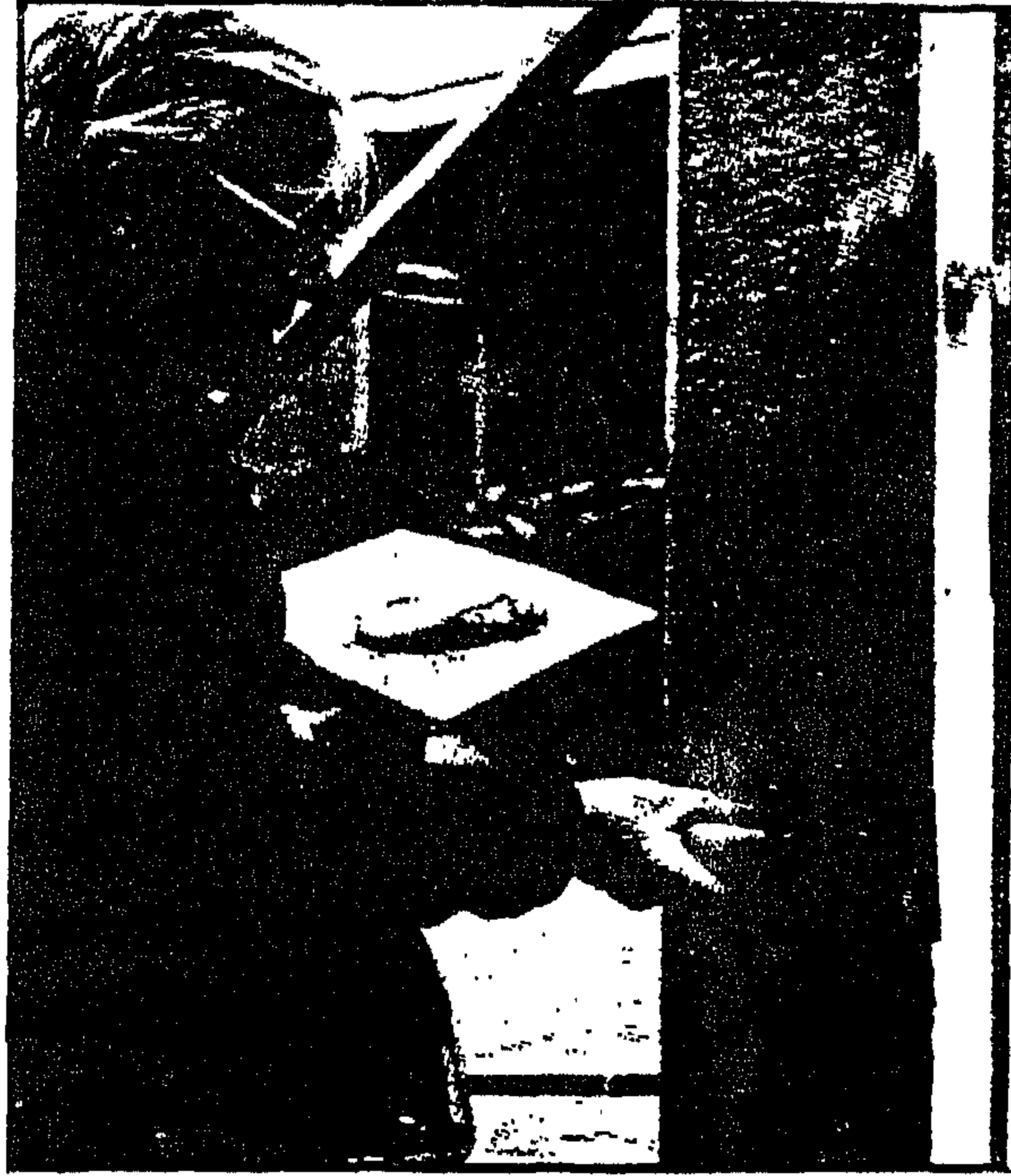
٤ / ٣ / ٥ / ١ - الإصلاح باستخدام الخرسانة أو المونة الأسمنتية :

ويستخدم فى غالبية الأحوال لقلّة تكلفته بالنسبة للإصلاح القائم على الراتنجات وللتوافق الموجود بين مادة الإصلاح فى هذه الحالة والخرسانة القديمة ، وفى حالة ما إذا كان تساقط الخرسانة سطحياً وليس عميقاً ، فإن أسلوب الإصلاح إما أن يكون بوضع المونة يدوياً (كالبياض) - شكلى (٨ / ١٢) ، (٨ / ١٣) - أو باستخدام مدفع الخرسانة (Guniting) ، وهذا الأسلوب موضح تفصيلاً فى قسم (٥ / ٢ / ٢) ، أما فى حالة الإصلاحات الكبيرة وسهولة الوصول للمعضو المصاب فيمكن استخدام الشدة وصب الخرسانة بداخلها إما بالطرق المعتادة أو باستخدام الركام المحقون تحت ضغط (Grouted aggregate) ، ولكن فى أغلب الأحوال فإن بياض الأجزاء المطلوب إصلاحها هو الأسهل والأنسب .

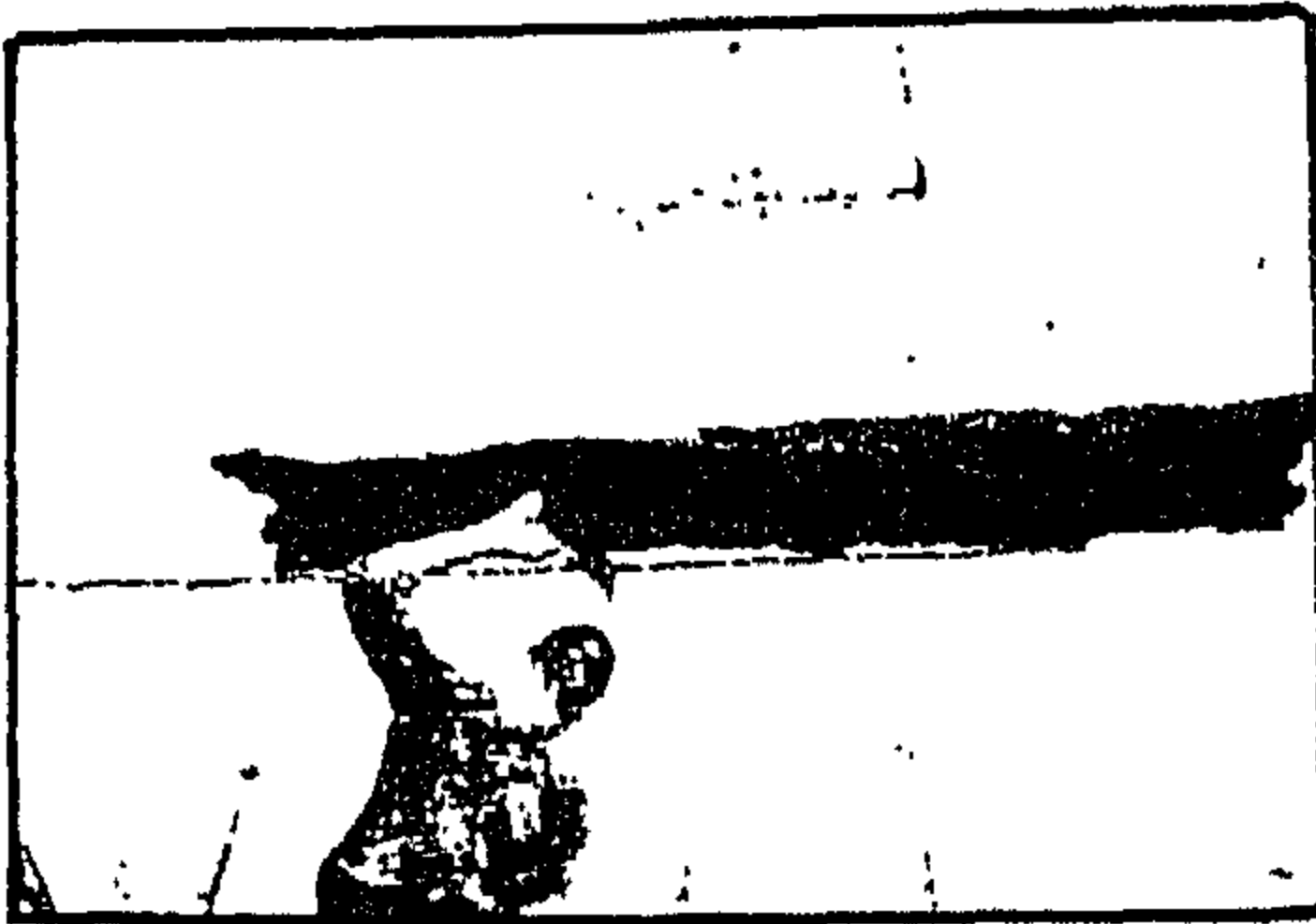
ويستحسن ربط خرسانة أو مونة الإصلاح بالخرسانة القديمة ، فإذا كان هناك صلب تسليح فى المنطقة المطلوب إصلاحها فهذا سيوفر الربط المطلوب ، وفى حالة عدم وجود تسليح يمكن استخدام مسامير رباط (Dowels) تثبت فى الخرسانة القديمة لربطها بالخرسانة أو المونة الجديدة .

١ - دهان التماسك :

فى حالة وضع المونة الأسمنتية يدوياً فيوصى بدهان الأسطح بدهان من الراتنجات أو البوليمرات ليزيد تماسك الخرسانة / المونة الجديدة مع الخرسانة القديمة ، وبعض مواد دهان التماسك يمكنها أيضاً منع حدوث أى صدأ جديد فى أسياخ التسليح بتكوين طبقة حامية حولها ، ولكن إذا كانت هذه المواد محتوية على حامض فوسفوريك أو أية أحماض أخرى فيجب عدم استعمالها لاحتفال تفاعلها مع الخرسانة / مونة الإصلاح .



شكل (٨ / ١٢) إصلاح تساقط خرسانة عامود بالمونة الموضوعة يدويا



أ - إصلاح جوانب الكمرة وبطنيتها (أسفلها) ب - إصلاح الكمرة من أسفل فقط

شكل (٨ / ١٣) إصلاح تساقط الخرسانة بالمونة الموضوعة يدويا

* البوليمرات :

ومن أكثر مواد دهان التماسك استعمالاً تلك المحتوية على بوليمارات لثية (Polymer Latex) ، وتتكون عادة من مستحلب من اللاتكس والأسمنت المخلوط في الموقع ، وقد يستعمل اللاتكس وحده بدون أسمنت ، ويدهن المستحلب على جميع أسطح الخرسانة والحديد الظاهرة ، ثم توضع الخرسانة / مونة الإصلاح قبل أن يفقد المستحلب لزوجته ، أما إذا جف فلا بد من استعمال طبقة ثانية لإحداث التماسك ، ولكن يخشى في هذه الحالة من حدوث نقص في إجهاد التماسك ، ويتماسك مستحلب اللاتكس والأسمنت مع الأسطح السليمة تماسكاً قوياً ولا يتأثر بالرطوبة بعد جفافه ومعالجته ، ويستحسن مع معظم البوليمرات بلل الخرسانة قبل دهانها ، ولكن يجب عدم وجود مياه على سطح الخرسانة تضعف التماسك .

* الراتنجات :

في بعض الأحيان يستعمل الإيبوكسي كمادة دهان تماسك ، وتمتاز عن مستحلب اللاتكس بوجود فترة أطول قبل جفافها مما يتيح وقتاً أطول لوضع الخرسانة / مونة الإصلاح ، ولكن يجب الاحتراس الشديد من جفاف الإيبوكسي قبل وضع المونة لأن ضررها في هذه الحالة يكون أكثر من نفعها إذ أن الإيبوكسي عند جفافه تماماً يكون طبقة ملساء قوية لا تتماسك مع الخرسانة الجديدة ، ولكن إذا وضعت مونة الإصلاح في الوقت المناسب فإن من مميزات الإيبوكسي - إذا تم عمل معادلة تركيبه بعناية - أنه يمكن الالتحام بالخرسانة القديمة وبالخرسانة / المونة الجديدة بقوة على حد سواء ، وفي بعض الحالات يتم خلط الإيبوكسي بالرمل الخشن لزيادة تماسكه مع الخرسانة / المونة الجديدة .

* مونة الأسمنت :

يمكن القيام بأعمال الإصلاح بنجاح باستخدام مستحلب مونة الأسمنت كمادة تماسك بدلاً من الراتنجات أو البوليمرات ، وذلك بدهان الأسطح بطبقة رقيقة من المونة المحضرة بعناية ، ثم وضع الخرسانة / المونة المستخدمة في الإصلاح مباشرة بعد دهان الأسطح وقبل جفاف طبقة الدهان ، ووضع أول طبقة من مونة الإصلاح بسرعة هامة جداً ؛ لأن الدهان الأسمنتي لو جف سيكون طبقة ضعيفة مثل اللباني ولا يحدث تماسك جديد بين مونة الإصلاح والخرسانة القديمة ، ولإطالة الفترة قبل جفاف الدهان الأسمنتي يمكن أن يخلط بالدهان مادة ستايرين بوتادين أو مستحلب أكريلك بنسبة جزء إلى جزئين من

مونة الأسمنت بالوزن ، وفى هذه الحالة يستغرق الوقت اللازم لجفاف طبقة الدهان عشرين دقيقة .

والخلاصة أن استخدام دهان تماسك من البوليمرات والأسمنت هو الأحوط وإن كان يمكن الدهان بمونة الأسمنت مع سرعة وضع مونة الإصلاح بسرعة ، أو يمكن استعمال المونة الإيبوكسية بشرط العناية بمعادلة تركيبها وعدم جفافها قبل وضع المونة .

٢ - المادة المستعملة فى الإصلاح :

إذا استعملت الخرسانة فى الإصلاح فيمكن أن تكون بالنسب والمكونات العادية أو أن يكون بها ركام ناعم وقد تستخدم معها إضافة من البوليمرات لتحسين التشغيل وتقليل النفاذية .

وفى حالة استعمال مونة الأسمنت والرمل فتكون نسب الخلط من ١ : ٢,٥ إلى ١ : ٣ مع استعمال رمل خشن - حرش - لأن استعمال الرمل الناعم يتطلب استعمال مياه كثيرة مما يؤدي إلى زيادة الانكماش ، فمحتوى الماء يجب أن يكون أقل ما يمكن بما لا يضر بالقابلية للتشغيل ، وعادة ما تكون الإضافة المستعملة فى هذه الحالة من الإضافات المحتوية على بوليمرات ؛ لأنها تزيد من قدرة المونة المتصلدة على الاستطالة ومن ثم تقلل احتمالات تشققها ، والفائدة الملموسة من استخدام هذه الإضافات عادة ما تبرر المبالغ الإضافية التى تدفع فيها .

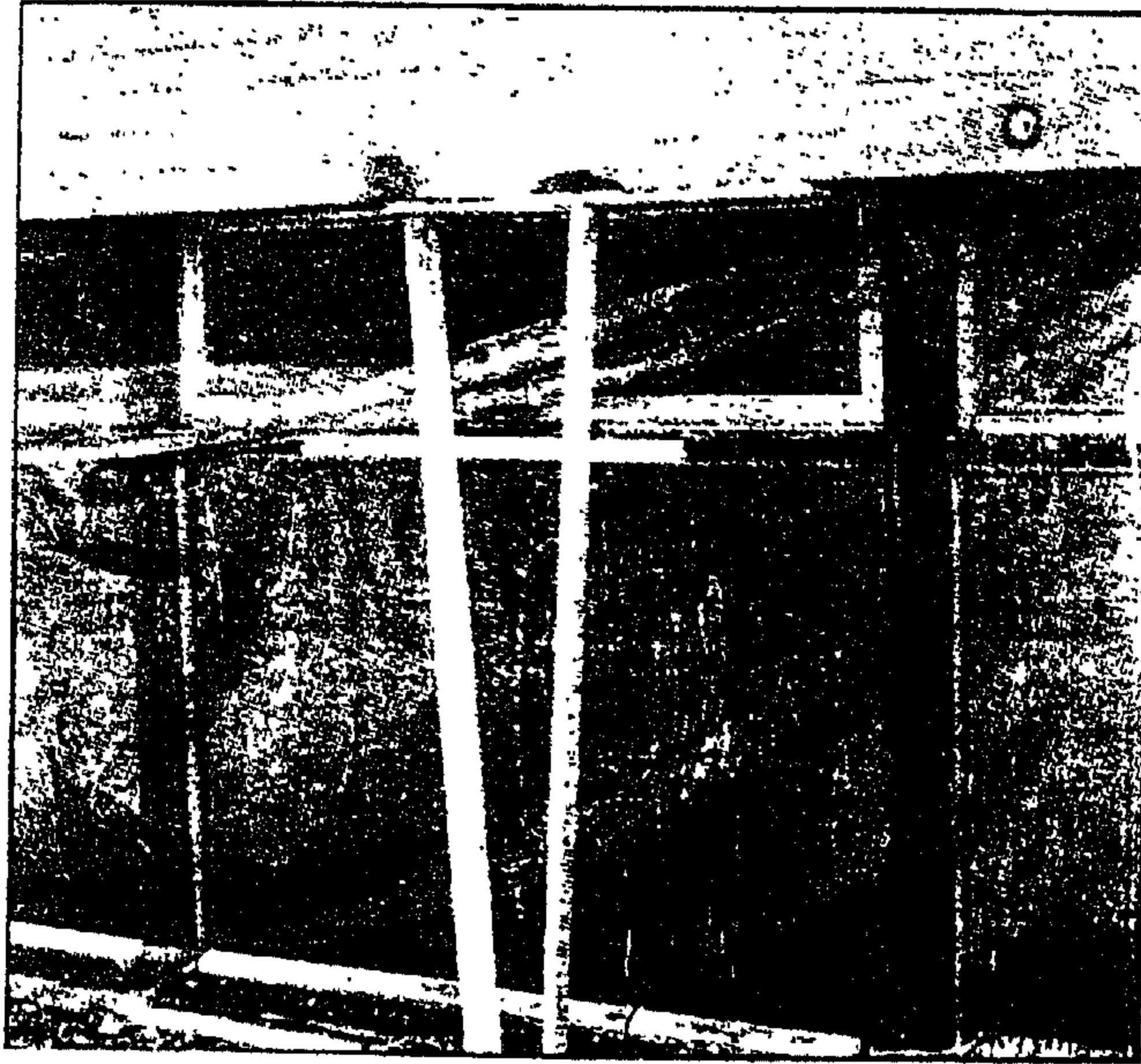
٣ - خطوات التنفيذ :

نوضع المونة على طبقات لا يزيد سمكها عن ٢ سم ، ويستحسن عمل فجوات فى كل طبقة بالمسطرين لزيادة التماسك مع الطبقة التالية - كتمشيط البياض العادى - كما فى شكل (٨ / ١٣ / ب) ويجب ألا يزيد سمك الطبقات الخارجية عن الداخلية ولا يزيد محتوى الأسمنت بالخارجية عن الداخلية لأنه لو وضعت طبقة قوية على طبقة أضعف منها فهناك احتمال لحدوث تفكك نتيجة لإجهادات الانكماش ، ولذلك يستحسن أن يقل سمك الطبقات الخارجية أو تقل مقاومتها عن الطبقات الداخلية .

ويجب ضغط المونة جيدا فى الفجوة ؛ لأن المونة غير المنضغطة جيدا - وبالذات التى تحتوى على نسبة م. / س عالية - لن توفر الحماية الكافية لصلب التسليح ، وإصلاح بطنية الكمرات والبلاطات - الجزء السفلى - يحتاج فى أغلب الأحوال إلى شدة

بسيطة - لوح خشب على قائمين - شكل (٨ / ١٤) - حتى يتم تصلد المونة ، ويمكن تحسين خواص المونة بإضافة البوليمرات اللثية (polymar Latex) أو الراتنجات الطاردة للماء والتي تؤدي إلى تقليل النفاذية للماء وتقليل احتمال تدهور المونة بسبب الجفاف السريع ، وإن كانت هذه الإضافات لا تقلل من أهمية المعالجة ولكنها تستعمل لأن معالجة الإصلاحات عادة ما تكون صعبة وأي إضافات تقلل من ضرر المعالجة السيئة يجب أخذها في الاعتبار .

ويجب عمل كل الخطوات التي تمنع المونة من الجفاف بسرعة ، وذلك أثناء العمل وعلى الأخص في الأسبوع الأول من عمرها ، والاهتمام بهذا الأمر حيوي جداً لأن المونة عادة ما تكون طبقات رقيقة يسهل جفافها ، ولا توجد أنسب طريقة للمعالجة ، فكل حالة توجد لها طريقة تناسبها أنسب طريقة أكثر حسب مكان الإصلاح وحجمه ، ولكن استعمال رشاشات المياه واستعمال ٣ طبقات من الخيش المبلل دائماً والأواح البلاستيك التي يغطي بها العضو كلها طرق جيدة للمعالجة .



شكل (٨ / ١٤) عمل شدة بسيطة لإصلاح بطنية كمره تساقطت خرسانتها

٤ / ٣ / ٥ / ٢ - الإصلاحات ذات الحجم الكبير :

عندما يكون حجم الإصلاح كبيرا بحيث يصبح استخدام البياض بالمونة غير عملي ، فغالبا ما تستخدم الخرسانة ، ولا بد في هذه الحالة من عمل شدة خشبية أو معدنية ، ويمكن استخدام الزلط الفينو - ذى المقاس الصغير - فى هذه الحالة ولكن فى بعض الحالات قد لا يمكن استخدام زلط مقاسه الاعتبارى الأكبر يزيد عن ١ سم .

ويجب أن تصمم الشدة بحيث تملأ الخرسانة إلفجوات تماما بدون حدوث جيوب هوائية ، وإذا لم تسمح ظروف العمل بالوصول إلى الأجزاء التى يجرى إصلاحها بسهولة بحيث يدخل الهزاز لدمك الخرسانة جيدا ، فلا بد من استعمال إضافات زيادة القابلية للتشغيل (Superplasticizer) ويجب أن تصمم الخلطة الخرسانية بحيث تقلل الإدماء والانكماش إلى أقصى حد ممكن - انظر قسم (٢ / ٢ / ١) (من الباب السابع) - وسائل منع شروخ الانكماش .

وليس من الوجهة العملية فى هذه الحالة استعمال دهان تماسك بين الخرسانة القديمة والجديدة ؛ لأن الوقت المطلوب لعمل الشدة بعد دهان الأسطح طويل لدرجة لا تسمح باستخدام دهان التماسك .

وفى بعض الأحيان تستخدم طريقة بديلة - وبالذات فى الإصلاحات تحت الماء - وهى طريقة الركام الموضوع مسبقا ^(٥) (Prepacked aggregate) ، وفيها يتم عمل الشدة بالطريقة العادية ، ثم تملأ أولا بالركام ذى المقاس الواحد - حوالى ٢ سم فى حالة الفراغات الكبيرة و ١ سم فى حالة الفراغات الصغيرة - والذى يدمك حتى يملأ الفراغ تماما ، ثم يتم حقن مونة الأسمنت من القاع وحتى تملأ كل الفراغات بين الركام بينما يخرج الهواء - أو الماء - من القمة ، ومن المفيد أن يكون هناك جزء شفاف فى الشدة حتى يمكن ملاحظة عملية حقن المونة والتأكد من ملء الفراغات - وهناك تفاصيل أكثر عن هذه الطريقة فى قسم (٣ / ٢ / ٥) .

ويمكن استخدام رش الخرسانة بدلا من صبها إذا كان تساقط الخرسانة سطحيا وظروف المكان تسمح بالرش ، وخاصة إذا كان العضو المطلوب إصلاحه ذا مساحة سطحية كبيرة - مثل البلاطات والحوائط الخرسانية - والإصلاح بصب الخرسانة أو رشها متناول بتفصيل أكثر فى الجزء الخاص بالإصلاحات الإنشائية - (قسم ٥ / ٢ / ١ ، ٥ / ٢ / ٢) .

٤ / ٣ / ٥ - الإصلاح باستخدام المونة الراتنجية :

لا تستخدم المونة الراتنجية عادة إلا فى الإصلاحات الصغيرة حيث يصبح تأثير العمالة أكبر من تأثير ارتفاع تكلفة المونة أو عندما تصبح خواص الراتنجات مثل التصلد السريع والمقاومة العالية للأحمال والأحماض لاغنى عنها .

ويجب أن تكون خصائص المواد المستعملة مناسبة للعمل المطلوب حيث إن معامل التمدد الحرارى للراتنجات أكبر كثيرا من معامل تمدد المونة أو الخرسانة - انظر قسم ٤ / ٦ / ١ - وشكل (٨ / ٣٢) - والعوامل التى يجب أخذها فى الاعتبار عند اختيار مادة الإصلاح الراتنجية تشمل : درجة حرارة الجو المحيط أثناء العمل ، والفترة الزمنية المتاحة لإنهاء العمل ، والفترة الزمنية بين طبقات المونة المتتالية ، ولزوجة المونة المطلوبة وسرعة تصلدها ، وأخيرا حالة الأسطح التى سيتم دهانها ، فالمونة الراتنجية تتصلد فى ٢٤ - ٤٨ ساعة ، بحيث تصل إلى ٨٠٪ من مقاومتها القصوى عند درجة حراره ٢٠ م وكتقدير تقريبي يمكن أن أن ينخفض معدل التصلد إلى النصف إذا انخفضت درجة الحرارة عن ٥١٠ م ، وقد يتوقف إذا كانت الحرارة دون ٥ م - إلا لأنواع خاصة - وفى الأجواء الحارة تصبح الحرارة المنبعثة عند تفاعل الإيبوكسى وتصلده غير مرغوب فيها ، ولذا فتركيب الإيبوكسى للمناطق الحارة يختلف عن تركيبه للمناطق الباردة ، وبعض الراتنجات تتماسك مع أسطح رطبة وبعضها يمكن دهانه ويتم تصلده تحت الماء ، ولكن هذه الراتنجات لا تصلح للاستخدام فى الظروف الجافة التى يلزم لها راتنجات ذات تركيبة مختلفة .

والخلاصة أن كل حالة تدرس ظروفها بعناية ، ويتم اختيار تركيبة الإيبوكسى الخاصة بها عن طريق الخبراء فى هذا الموضوع .

أ - المادة المستخدمة فى الإصلاح :

* مونة الإيبوكسى :

وتتكون من مادة الراتنج (Resin) سائلة ومادة مسببة للتصلد (Hardener) سائلة أيضا ومادة مائه جافة (Filler) من الرمل أو الركام الخفيف - راجع قسم (٤ / ٦) من الباب السادس - واختيار نوع المادة اللاصقة والمادة المسببة للتصلد ونسب خلطها وطريقة الخلط فى منتهى الأهمية للحصول على الخصائص المطلوبة لمونة الإصلاح ، وأى .

المونة أو الخرسانة الأسمنتية	المونة أو الخرسانة الراتنجية	الخاصية
٧٠٠ - ٢٠٠	١١٠٠ - ٥٥٠	مقاومة الضغط (كجم / سم ^٢)
٥٠ - ٢٠	٥٠٠ - ٢٥٠	مقاومة الانحناء (كجم / سم ^٢)
٤٥ - ١٥	٢٠٠ - ٩٠	مقاومة الشد (كجم / سم ^٢)
ضئيلة للغاية	صفر - ١٥	المطولية عند الكسر (%)
٦ - ١٠ × ١٣ - ٧	٦ - ١٠ × ٣٥ - ٢٥	معامل التمدد الحرارى (لكل م ^٥)
٢,٣ - ٢,٠	٢,١ - ٠,٧	الوزن النوعى (طن / م ^٣)
تصل إلى ٣٠٠ أو أكثر	٨٠ - ٤٠	أقصى درجة حرارة يمكن تحملها (م ^٥)
بحسب تصميم الخلطة		المدة المطلوبة للوصول إلى ٨٠ %
١ - ٤ أسابيع	٤٨ ساعة	من المقاومة عند درجة ٢٠ م ^٥

جدول (٨ / ٢) الخصائص النمطية للمونة أو الخرسانة الراتنجية والأسمنتية

تفاوت فى ذلك يؤدى إلى نتائج سيئة ، و جدول (٨ / ٢) يبين الخصائص النمطية لبعض المون الراتنجية التى استعملت فى إصلاح الخرسانة .

ويبدأ الشك بمجرد خلط المادة اللاحمة والمادة المسببة للتصلد ، وتنبعث حرارة من هذا التفاعل ، وأقصى حرارة تنبعث قبل تصلد الإيبوكسى ، وعندما يبرد الخليط يحدث انكماش حرارى مما يودي إلى إجهادات عند سطح التماسك مع الخرسانة القديمة ، وما عدا هذا الانكماش الحرارى فانكماش المونة الإيبوكسية قليل ، ولتفادى الآثار الضارة للانكماش الحرارى فإنه يلزم دراسة كل حالة على حدة لتحديد : حجم المونة التى توضع كل مرة وسمكها ودرجة حرارتها ودرجة حرارة الجو المحيط أثناء الإصلاح .

« مونة البوليستر والإكريلك :

وهى أبسط كيميائيا من مونة الإيبوكسى حيث يتكون البوليمر بالتفاعل الكيميائى مع نفسه ، ويبدأ شرارة التفاعل عامل مساعد (Catalyst) - غالبا أكسيد Peroxide عضوى - ونسبة خلط العامل المساعد مع المادة اللاحمة أقل حساسية من نسب خلط المادة اللاحمة والمسببة للتصلد فى المونة الإيبوكسية ، وتكون المادة اللاحمة فى صورة سائل منخفض

للزوجة والعامل المساعد في صورة بودرة - وفي بعض الأحيان في صورة سائلة - وعادة ما تكون عبوات البودرة الخاصة بالعامل المساعد عبارة عن خليط بينه وبين المادة المائلة أو بينه وبين الركام الصغير في المادة المائلة ثم يضاف الركام الأكبر بعد ذلك .

ومثل الإيبوكسي تنبعث حرارة أثناء تفاعل البوليستر والإكريلك ، ولكن أقصى حرارة تنبعث بعد التصلد مما يؤدي إلى انكماش حراري كبير مصحوبا بإجهادات عالية عند سطح التماسك مما قد يؤدي إلى انهيار هذا التماسك ، وبالإضافة للانكماش الحراري فإن حجم راتنج البوليستر بعد تصلده يصبح أقل من حجمه قبل التصلد - انكماش التصلد - ولهذين السببين لا تستخدم مونة البوليستر إلا في المساحات الصغيرة ، وأغلب المصنعين لهذه المادة يضعون شروطا على أقصى مساحة وأقصى سمك يسمح باستخدام كل تركيبة من هذه المونة فيه .

والميزة الأساسية لراتنجات البوليستر هي قدرتها على الوصول إلى مقاومة كبيرة بسرعة وعلى التصلد في الأجواء الباردة ، فبعض التركيبات تصل مقاومتها للضغط إلى ٥٠٠ كجم / سم^٢ بعد ٢ - ٣ ساعات عند درجة ٢٠ م أو بعد ١٦ ساعة عند درجة الصفر المئوي ، وبعض التركيبات تصل إلى مقاومة عالية حتى ولو كانت الحرارة دون الصفر بعشر درجات .

ويوجد الآن عدد من راتنجات الإكريلك أحادية الجزيئات الأبسط من البوليستر في التفاعل المؤدى إلى التصلد ، والتي يحدث لها انكماش أقل ولكنها شديدة القابلية للاشتعال عند درجات الحرارة الأعلى من ١٠ م .

وكما ذكرنا سابقا فإن خواص مونة الإصلاح الراتنجية سواء الميكانيكية أو الطبيعية مختلفة إلى حد كبير عن خواص الخرسانة - انظر جدول (٨ / ٢) - وحتى وقت قريب لم تكن هناك طرق اختبار قياسية لتحديد خصائص التركيبات المختلفة للمونة الراتنجية والتي لها علاقة باستعمالها كمادة إصلاح للخرسانة ، ولكن في الثمانينات ظهرت مواصفات للاختبارات القياسية للتركيبات المختلفة للراتنجات وتحديد خواصها المطلوبة لتحديد التركيبة المناسبة لكل عملية إصلاح مثل المواصفات البريطانية رقم (BS 6319) (٦) .

ب - دهان طبقة التماسك :

في إصلاح الخرسانة باستخدام المونة الراتنجية يتم دهان سطح صلب التسليح بعد تنظيفه بالرمال المندفعة Sandblast بطبقتين من الدهان المبدئي Primer ، ويتم دهان سطح

الخرسانة بعد إعداده بطبقة واحدة ، والغرض من الدهان المبدئي هو :

١ - على الصلب : الطبقة الأولى غير منفذة للرطوبة وتترك لتجف ، والطبقة الثانية تسد أى فجوات فى الطبقة الأولى وتعمل كمادة التصاق بمونة الإصلاح .

٢ - على الخرسانة : تعمل طبقة الدهان المبدئي على التماسك مع الخرسانة ومونة الإصلاح ، ولا بد أن تكون لزجة ولم تجف تماما عندما توضع مونة الإصلاح :

وفى حالة العبوات الصغيرة من مادة الدهان المبدئي (أقل من ١,٥ لتر) يمكن استعمال الخلط اليدوى باستعمال سكينه مسطحة مع التأكد من أن كل المواد العالقة بجوانب إناء الخلط وقاعه قد تم خلطها جيدا ولا يسمح باستخدام قطعة خشبية أو قضيب معدنى ؛ لأنه لا يمكن الحصول على خليط جيد باستعمالها ، أما فى حالة العبوات الأكبر فيستحسن استخدام رأس خلط مركبة على مثقاب كهربائى يعمل على ٢٠٠ - ٤٠٠ لفة / دقيقة .

وتدهن الطبقة الأولى بانتظام على سطح صلب التسليح وتترك لتتصلد - حوالى ٤ إلى ٦ ساعات حسب نوعها ودرجة الحرارة المحيطة - ثم تدهن الطبقة الثانية على صلب التسليح والخرسانة بعد مدة لا تزيد عن ١٦ ساعة ، وقبل أن تتصلد هذه الطبقة - وهى ما زالت لزجة - توضع مونة الإصلاح ، حيث إنه لو تصلدت الطبقة الثانية قبل وضع مونة الإصلاح فلا بد من تخشين السطح ثم دهان طبقة جديدة .

ج - طريقة التنفيذ :

معظم مواد الإصلاح الإيوكسية تجيء فى ثلاث عبوات ، ومن الضرورى خلط المادة اللاحمة والمادة المسببة للتصلد جيدا وبالنسب المضبوطة قبل إضافة المادة المائلة ، وفى حالة الكميات الصغيرة - ٦ كجم أو ٣ لترات - يمكن خلطها باستخدام المسطرين المقعرة (Bull-nose trowel) فى إناء بلاستيك ، أما الكميات الأكبر فيلزم لخلطها استعمال خلط المونة الكهربائى ، مع التأكد من أن كل المواد العالقة بجدار وقاع الخلط قد تم خلطها جيدا ، ويجب أن يكون وقت الخلط كافيا ليحدث امتزاج لكل المادة المائلة بالمادة اللاحمة - حوالى ٤ دقائق .

المونة المخلوطة جيدا يتم وضعها ودمكها بحيث نحصل على مونة خالية من الفجوات حتى لا يحدث هبوط للمادة بعد ذلك ، ويتم ذلك بالضغط عليها بالمسطرين حتى تملأ

الفراغ كله ، ولكن قد تستعمل طرق أخرى للحصول على شكل الغطاء الخرساني المطلوب في بعض الحالات ، وإذا كان من الضرر رى بناء السمك بعدة طبقات متتالية فلا بد من خدش سطح الطبقة السابقة قبل وضع الطبقة اللاحقة لزيادة التماسك ووضع الطبقة اللاحقة بمجرد تماسك الطبقة السابقة ، بحيث تتحمل طبقة جديدة بدون حدوث انضغاط بها ، أما إذا زاد الوقت بين الطبقتين عن ٤ - ٦ ساعات فلا بد من دهان سطح الطبقة السابقة بمادة التصاق قبل وضع الطبقة اللاحقة مباشرة .

وفي الحالات التي توجد فيها قوى قص عالية في مكان الإصلاح فيستحسن ربط مونة الإصلاح بالخرسانة القديمة باستعمال مسامير رباط (Dowels) ، إذا لم يكن هناك تسليح قص كاف في المنطقة الجارى إصلاحها .

٤ / ٣ / ٦ - مظهر الخرسانة :

• عندما يكون مظهر العضو الخرساني بعد الإصلاح مهما - في حالة الخرسانة الظاهرة مثلا - فقد يتطلب الأمر دهان العضو كله بطبقة بلون الخرسانة لإخفاء مكان الإصلاح ، ويمكن الوصول بالإصلاح إلى لون مقارب للون الخرسانة عند استعمال المونة الأسمنتية بحسن اختيار لون الركام ولون الأسمنت - استعمال خليط من الأسمنت العادى والأبيض - ولكن من الصعب جدا الوصول إلى لون لمونة الإصلاح بحيث لا يظهر فارق بينها وبين الخرسانة المجاورة .

وبالنسبة لحالة السطح فإن الخس ملليمترات الأخيرة من مونة الإصلاح يمكن عملها باستعمال مونة من كسر الحجر الجيرى ؛ لأنه عند استعمال الرمل العادى في المونة فإن سطحها سيكون عادة أخشن من سطح الخرسانة الظاهرة المجاورة ، ومن المفيد إضافة البوليمرات لمونة الطبقة السطحية لزيادة مقاومتها لإجهادات الشد وزيادة تماسكها مع الطبقة السابقة لها في نفس الوقت .

ورغم أن تغيير محتوى الأسمنت يؤثر على لون المونة - وخاصة عند إضافة الأسمنت الأبيض - بحيث تصبح أقرب ما يكون للخرسانة المجاورة ، فإنه يجب مراعاة ألا يزيد محتوى الأسمنت في الطبقة السطحية عن المحتوى في الطبقة السابقة حتى لا تحدث شروخ جديدة .

ويتم نهو سطح الإصلاح بالقدة المعدنية في حالة الرغبة في الحصول على سطح ناعم أو بالقدة الخشبية للحصول على سطح خشن .

٤ / ٤ - إصلاح تعشيش الخرسانة The repair of Honeycombed concrete :

٤ / ٤ / ١ - أسباب العيب :

التعشيش يحدث لسبب أو أكثر من الأسباب التالية :

أ - المسافة بين صلب التسليح لا تسمح بمرور الخرسانة ، فيجب أن تكون المسافة بين الأسياخ أكبر من المقاس الاعتباري الأكبر للزلط .

ب - استعمال خرسانة جافة أكثر من اللازم .

ج - نقص الدمك نتيجة توقف الهزازات أو عطلها أثناء الصب أو صب الأعمدة والحوائط بارتفاع الدور كله - ٣ م أو أكثر .

د - حدوث شك مبكر للخرسانة المستخدمة أو استخدام خرسانة مضى على خلطها مدة كبيرة بحيث يكون الشك قد بدأ .

هـ - قلة عرض القطاع الخرساني للكمرات أو الحوائط - أقل من ١٢ سم .

و - حركة الشدة أثناء الصب نتيجة عدم التقوية أو نتيجة عدم تصميمها لمقاومة الأحمال الأفقية لمعدات صب الخرسانة .

٤ / ٤ / ٢ - الغرض من الإصلاح :

لابد من الوصول إلى القطاع الخرساني التصميمي كاملا ، وخاصة في حالة التعشيش الداخلي ، كما يلزم توفير الحماية الكافية لأسياخ الصلب في حالة التعشيش الخارجي .

٤ / ٤ / ٣ - إعداد العضو للإصلاح :

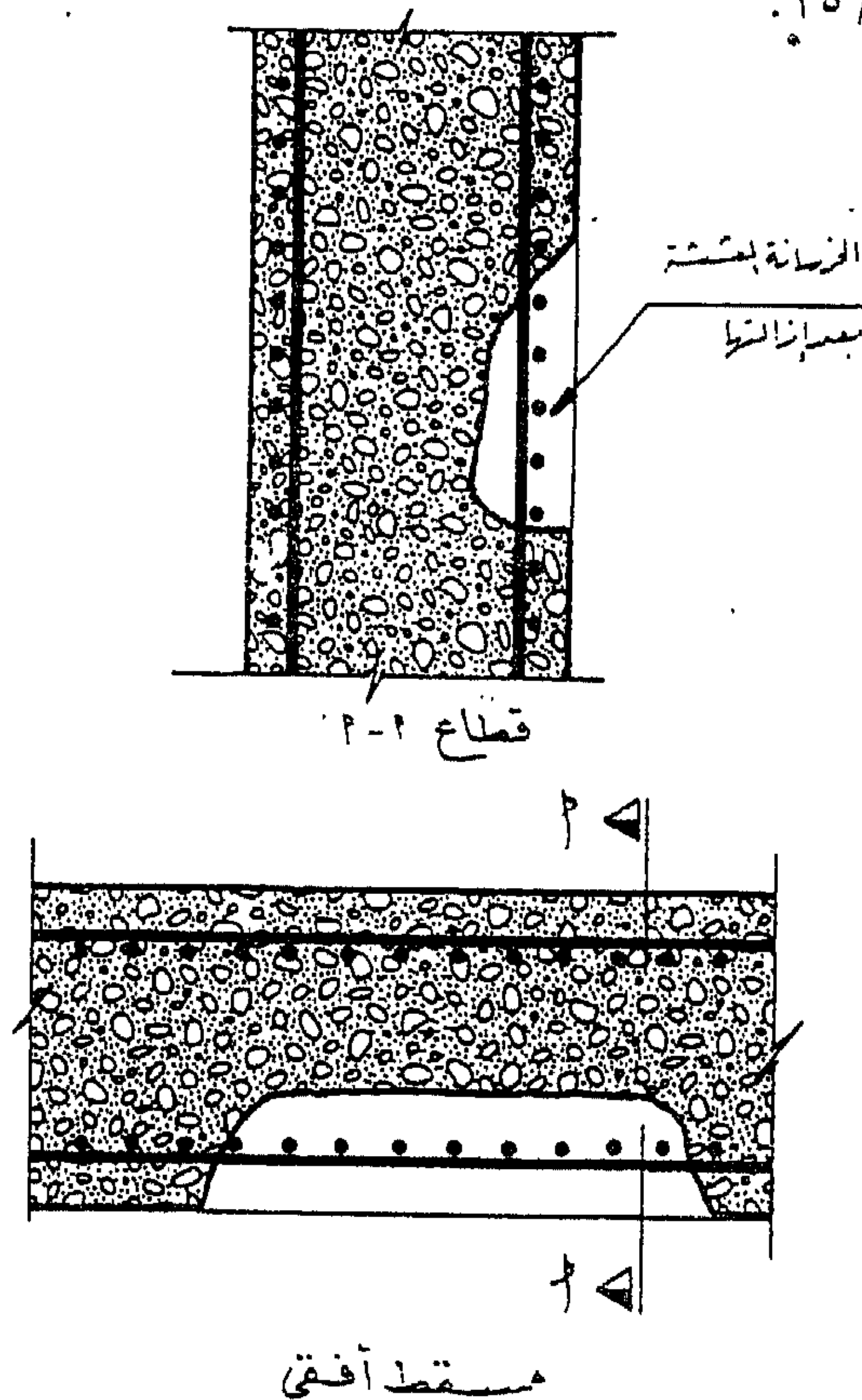
عند الشك في وجود تعشيش داخل عضو خرساني فإن الاختبارات التي يمكن إجراؤها تتراوح بين إزالة الخرسانة السطحية - بالنحت اليدوي - وأخذ قلب خرساني (Core) في المنطقة المشكوك فيها ، وعمل اختبار بالموجات فوق الصوتية (Ultrasonic pulse velocity survey) أو عمل اختبار بالأشعة (Gamma radiography) - راجع الباب الثالث .

وعند التأكد من وجود تعشيش فإن الحل في هذه الحالة هو إصلاح هذه المنطقة أو إزالة هذا الجزء ، وقد يقضى الأمر بإزالة العضو كله ، ولكن الإزالة فضلا عن تكلفتها

وصعوبتها فهي تؤدي كذلك إلى تعطيل برنامج التنفيذ ، والحل الأمثل يصبح إزالة الخرسانة المفككة واستبدالها بخرسانة مدموكة جيدا ، وتكمن الصعوبة الأساسية في هذا الحل في التأكد من أن الخرسانة الجديدة ستكون مدموكة جيدا ، وإلا فإن الإصلاح لن يكون ناجحا ولن يتم الوصول إلى قطاع خرساني كامل يعمل بكفاءة ، وإعداد العضو للإصلاح يشمل :

١ - إزالة الخرسانة السطحية لكشف الخرسانة الداخلية المفككة ، ويستحسن صلب - سند - العضو إذا كان التكسير سيضمحل منطقة كبيرة .

٢ - إزالة الخرسانة المفككة أو غير المطابقة للمواصفات باستخدام الطرق اليدوية أو الخاصة المذكورة في الجزء (٤ / ١ / ٢ / ١) السابق للوصول إلى الخرسانة السليمة - انظر شكل ١٥ / ٨ .



شكل (١٥ / ٨) طريقة إصلاح التعشيش في كمرة أو عمود

٤ / ٤ / ٤ - خطوات الإصلاح :

أ - إصلاح التعشيش باستخدام الخرسانة :

تستعمل الخرسانة أو المونة الأسمنتية أو الراتنجية ، ولا تستعمل الخرسانة إلا إذا كان حجم الجزء المزال كبيرا ، وفي هذه الحالة يجب تحضير الخرسانة التي ستستخدم في ملء الفراغ بالمواصفات الآتية :

١ - غنية بالأسمنت .

٢ - بها تدرج حبيبي جيد للركام .

٣ - نسبة الماء : الأسمنت بها منخفضة - وهذا عكس ما يعتقد كثير من مهندسي التنفيذ إذ يعتقدون أنه يجب أن تكون الخرسانة ذات قوام لدن لملء كل الفراغات ، ولكن يجب ألا يكون ذلك بزيادة محتوى الماء لإمكان السيطرة على الانكماش .

٤ - قابلية للتشغيل عالية - وهذا لا يتاح إلا باستعمال إضافات زيادة اللدونة (Plasticizers) .

وبعد تحضير الخرسانة يجب ملء الفراغ تماما ودمك الخرسانة جيدا ، وقد يحتاج الأمر عند إصلاح بطنية الكمرات أو إصلاح أجزاء كبيرة من الأعمدة إلى استعمال ألواح خشبية ، كما هو مبين في شكل (٨ / ١٤) .

وبجانب الدمك الجيد للخرسانة الجديدة فإن مشكلة الحصول على اتصال كامل غير منفذ للماء بين الخرسانة الجديدة والقديمة يمثل مشكلة مهمة ، وتزداد أهميتها إذا كان التعشيش بكامل عمق العضو - حائط أو عامود - وللتغلب على هذه المشكلة فيمكن دهان سطح الخرسانة القديمة بعد تنظيفه تماما من الأتربة بمادة لاحمة أو بمونة أسمنتية لا تتصلد بسرعة .

ويجب معالجة الخرسانة الجديدة بجعلها رطبة دائما ولمدة أربعة أيام على الأقل ، وإلا فمن الممكن حدوث شروخ انكماش بها .

وقد تكون مقاومة العضو الخرساني بعد إصلاحه أقل قليلا من مقاومة عضو مماثل لم يحدث به تعشيش ، ولكن إذا تم الإصلاح بطريقة سليمة وبافتراض أن الإجهادات ستتوزع بين الجزء القديم والجديد ، فإن النقص في المقاومة لن يكون مؤثرا .

ب - إصلاح التعشيش باستخدام مونة الأسمنت :

تستعمل مونة الأسمنت والرمل عندما يكون حجم التعشيش صغيرا ، أو عمق العضو بسيطا ، أو فى حالة الأعضاء غير الحاملة - حوائط غير حاملة أو تشكيلات خرسانية - وطريقة التنفيذ تعتمد على حجم الفراغ المراد ملؤه .

١ - وفى حالة الفراغات الصغيرة - أقل من ١٠ سم - يتم ملء الفراغ يدويا بالمونة مع الضغط جيدا حتى يتم الدمك ، ويجب الوصول إلى مونة كثيفة مدموكة جيدا داخل الفراغ المطلوب ملؤه ، ويجب أن يكون محتوى الماء فى المونة أقل ما يمكن حتى نقتل من انكماش المونة عند جفافها ، وهذا المحتوى سيعتمد على الحالة المطلوب إصلاحها ، فإذا كان التعشيش سطحيا فيمكن استعمال مونة جافة جدا ، ومع ذلك يمكن ضغطها جيدا فى الأماكن المعششة ، وتتكون المونة فى هذه الحالة من جزء أسمنت : ٣ أجزاء من الرمل المتدرج جيدا ، ويوصى باستعمال إضافات تحسن التماسك مع الخرسانة القديمة وتقلل نفاذية الماء فى المونة وتقلل انكماشها - مثل مستحلب الاستيرين بوتادين أو ما يماثلها - ، ويجب العناية بمعالجة المونة جيدا كما سيأتى ذكره فيما بعد .

٢ - وفى حالة الفراغات الأكبر - ١٠ سم فأكثر - فيستحسن استخدام طريقة الرش (Gunite) والرش يمتاز بأنه يضمن حدوث اتصال كامل بين المونة وكل من الخرسانة القديمة وصلب التسليح ، كما يوفر تماسكا أفضل بينهما ، والمونة المستخدمة فى هذه الحالة يجب أن تكون قوية وتتكون من جزء أسمنت : ٣ أجزاء رمل خشن ونسبة م / س لا تزيد عن ٥٣ ، وهذه المونة قد تصل مقاومتها للضغط إلى ٤٠٠ كجم / سم ٢ .

وفى الحالتين - الملاء اليدوى والملاء بالرش - يتم تسوية السطح يدويا ، ويجب أن يكون السطح ممسوسا جيدا لكي تكون النفاذية أقل ما يمكن ، وقد تظهر شروخ شعرية حول محيط المنطقة المملوءة عند استخدام الملاء اليدوى - وقد تظهر بدرجة أقل عند استخدام المدفع Gunite - ولإزالة هذه الشروخ يوصى بحك المونة الجديدة بفرشاة خشنة جدا ، وحك الخرسانة القديمة المحيطة بالمونة بفرشاة سلك لإزالة الطبقة السطحية الضعيفة وذلك لمسافة ١٥ سم من كل ناحية من الحد الفاصل للمونة - وذلك بعد تصلد المونة - ثم يتم دهان هذه المنطقة بطبقة سميكة من المونة الأسمنتية المكونة من جزئين

أُستعملت إلى جزء من مادة الاسفيرين بوتادين أو ما يماثلها .

المعالجة :

لابد من الاعتناء جيدا بمعالجة الأماكن التي تم إصلاحها ، وقد تكون المعالجة صعبة وخاصة عندما تكون هذه الأماكن متباعدة ، ولكن المعالجة ضرورية للعناية لكي لا تحدث شروخ في مونة الإصلاح ، وقد لوحظ أنه في بعض الحالات حدثت شروخ عند محيط المونة رغم العناية بمعالجتها نتيجة الانكماش أثناء الجفاف (Drying Shrinkage) ، وهذه الشروخ إذا لم تعالج فستؤدي إلى تدهور الخرسانة مرة أخرى ، ويستحسن في مثل هذه الأحوال استخدام مونة لا تنكمش (Non - Shrinking mortar) .

ومن التوصيات الفعالة للمعالجة أن يتم تغطية سطح العضو كله الذي به إصلاحات بطبقة ذات مقاومة مع الزمن (Durable) ، وهذه الطبقة تفادى الآثار الضارة لقلة الغطاء الخرساني أو نفاذية الخرسانة القديمة أو أي شروخ ستظهر في مونة الإصلاح ، ومن المعلوم أنه لا يمكن زيادة الغطاء الخرساني الذي يسبب صدأ الحديد بدون زياده في القطاع الخرساني - وهو غير ممكن في أحوال كثيرة - وفي هذه الحالة يكون سمك مونة الإصلاح هو نفس سمك الغطاء الخرساني ولكن المستهدف أن تكون نفاذيتها أقل من الخرسانة القديمة ، وتغطي سطح العضو بطبقة دائمة يساعد في هذه الحالة حيث ستعمل هذه الطبقة كغطاء فعال لمعالجة المونة الجديدة ، كما ستعمل كسطح يتحمل مع الزمن ويتمتع نقاذ الرطوبة في آن واحد ، وهذه التوصية هامة في حالة إصلاح المنشآت البحرية بالذات ؛ لأنها تتعرض للرطوبة دائمة ويمكن أن تكون هذه الطبقة ملونة للوصول إلى الشكل المعماري المطلوب .

ج - سد التشعشيش السطحي :

عندما يكون التشعشيش سطحيًا بعمق صغير فقد يفضل استعمال المعالجة السطحية بدلًا من إزالة الخرسانة وإعادة ملء الفراغ ، ولكن يجب التأكد في هذه الحالة من أن هذا التشعشيش السطحي لا يخفي وراءه تشعشيشًا داخليًا - عن طريق الاختبارات السابق ذكرها - وأن سطح الخرسانة الذي سيغطي بالمونة قويا ومتماسكًا بما فيه الكفاية .

والغلاج في هذه الحالة يكون بتغطية التشعشيش بطبقة من المونة الراتنجية ، والعيب الرئيسي لهذا العلاج أنه يحتاج إلى تجديد كل فترة زمنية ولكن ميزته الأساسية أن كل

مراحل العلاج ظاهرة للعين المجردة - إعداد السطح ثم التغطية بالمونة - ويمكن فحصها -
بعكس ملء الفراغ بالمونة تحت ضغط (Grouting) ، وهى غير ظاهرة ولا يمكن التأكد
أن كل الفراغات قد ملئت .

وإعداد السطح يتم بإزالة الطبقة السطحية الضعيفة وكشف الركاب بعمق كاف - ٣ مم
على الأقل - وينصح باستخدام المونة الراتنجية التى تلتصق بسطح الخرسانة الرطبة -
وليست الجافة - وكذلك مونة تتحمل مع الزمن العوامل الجوية التى سيتعرض لها المنشأ ،
والراتنجات الإيبوكسية والبوليريثان توفى هذين الشرطين وهى الأعم استخداما .

وينصح بدهان السطح بطبقة مبدئية ذات لزوجة منخفضة Low viscosity primer
ثم دهانه بعدة طبقات من المونة الراتنجية للوصول إلى سمك لا يقل عن ٧٥ ، مم ، كما
نصح بأن تمتد المنطقة المدهونة لمسافة كافية بعد حدود الجزء الذى تم إصلاحه - ٣٠ سم
من كل ناحية يعتبر كافيا .

٤ / ٥ - سد الشروخ وملؤها : Sealing & Filling of Cracks

٤ / ٥ / ١ - أسباب العيب :

سد الشروخ يقصد به سد الشروخ السطحية التى غالبا ما تكون نتيجة للانكماش أو
الشروخ الحرارية أو هبوط بالأساسات ، وملء الشروخ يقصد به ملء الشروخ الأكثر
اتساعا والأكثر عمقا وأسبابها تشمل كل أسباب الشروخ التى تم تشرحها فى الفصل الرابع .

٤ / ٥ / ٢ - الغرض من الإصلاح :

توفير الحماية لصلب التسليح من مسببات الصدأ - رطوبة وكلوريدات - ومنع نفاذ
الكيمائيات الضارة بالخرسانة الداخلية ومنع نفاذ الرطوبة إلى العضو المتصدع .

٤ / ٥ / ٣ - أساليب الإصلاح :

يعتمد اختيار أسلوب الإصلاح على طبيعة الشرخ ومكانه وسبب حدوثه ، وما إذا
كان هناك احتمال لاستمرار هذا السبب ، فمثلا إذا كان سبب حدوث الشرخ هو هبوط
الأساسات أو الحركة المصاحبة للانكماش أو تغير درجات الحرارة وكان احتمال حدوث
هذه الأسباب مستقبلا احتمالا كبيرا ، فإن محاولة غلق الشرخ أمام أى حركة مستقبلية لن
تؤدى إلا إلى حدوث شرخ جديد بجوار الشرخ الذى تم إصلاحه ، وفي هذه الحالة فإن

ملء الشرخ بمادة لها ممتولية كافية هو الحل الوحيد .

وفى بعض الأحوال لا يتطلب الأمر إلا سد الشروخ بحيث تمنع الرطوبة ، وفى بعضها الآخر لابد أن يكون الإصلاح قادرا على نقل الأحمال عبر الشرخ ، وفى بعض الأحوال تكون الشروخ رفيعة جدا ويستحسن إهمالها لأن أى محاولة لملئها لن تؤدي إلا إلى أن تصبح هذه الشروخ أكثر وضوحا .

وهنا يجب التفرقة بين حالتين قبل اختيار أسلوب الإصلاح المناسب :

أ - حالة لا يتوقع فيها حركة مستقبلا تؤدي إلى اتساع فى الشروخ .

ب - حالة من المتوقع فيها حدوث اتساع فى الشروخ .

وفى الحالة الأولى فإن اتساع الشرخ وعمقه وهل هو معرض لضغط مياه أم لا ؟ وهل المطلوب فى إصلاحه مادة قوية تتحمل الأحمال أم لا ؟ كلها عوامل تؤثر على اختيار أسلوب الإصلاح - كما هو مبين فى شكل (١٦ / ٨) .

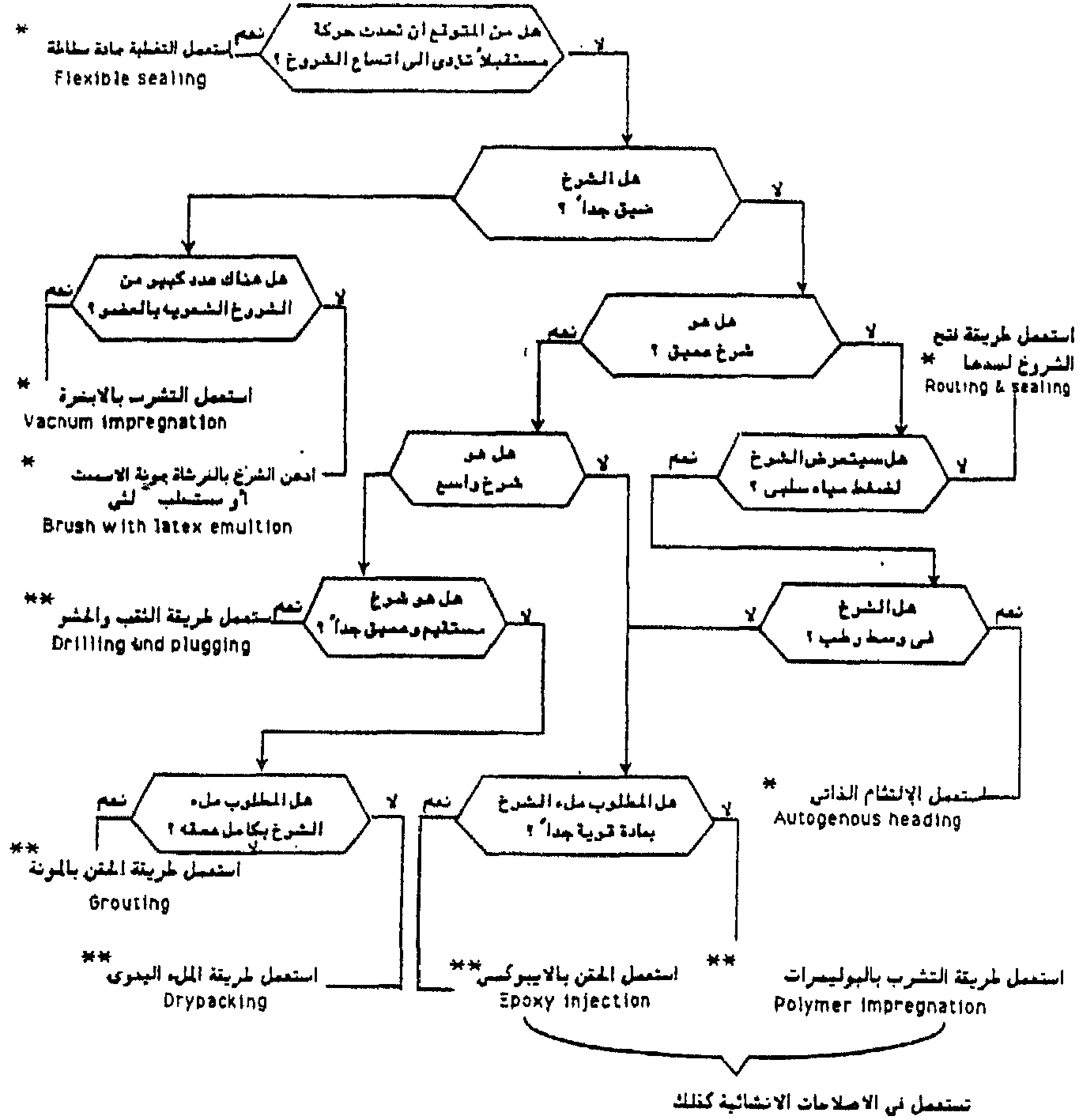
أولا : طرق الإصلاح فى حالة عدم توقع حركه تؤدي إلى اتساع الشروخ مستقبلا :

٤ / ٥ / ٣ / ١ - دهان الشروخ :

عندما يكون المطلوب سد الشروخ الشعرية لمنع الرطوبة من النفاذ إلى صلب التسليح ، فإنه أحيانا ما يكون دهان الشروخ بالفرشاة كافيا ، ويستعمل فى الدهان مونة الأسمنت أو المستحلب اللثى (Latex emulsion) وهذه المواد تخترق الشروخ بحرية كبيرة ويمكن أن تملأها تحت تأثير الجاذبية - إذا كانت الشروخ بأعلى الكمرة أو البلاطة .

٤ / ٥ / ٣ / ٢ - التشرب بالتفريغ Vacuum impregnation :

وتستعمل هذه الطريقة إذا كان بالعضو عدد كبير من الشروخ الشعرية أو عندما يكون دمك الخرسانة غير كافى أو أن تدهور الخرسانة هو بشكل عام قريب من السطح ، وفيها يتم تغطية الجزء التالف من العضو بغطاء من البلاستيك تلتصق أطرافه بسطح الخرسانة جيدا ثم يتم تفريغ الهواء جزئيا داخل هذا الغطاء ثم يسمح بانسياب أبخرة من الراتنجات ذات اللزوجة المنخفضة داخل الغطاء لتملأ الشروخ (٧) .



شكل (٨ / ١٦) طرق سد الشروخ وملئها

٤ / ٥ / ٣ - فتح الشروخ لسدها^(٨) Routing & Sealing :

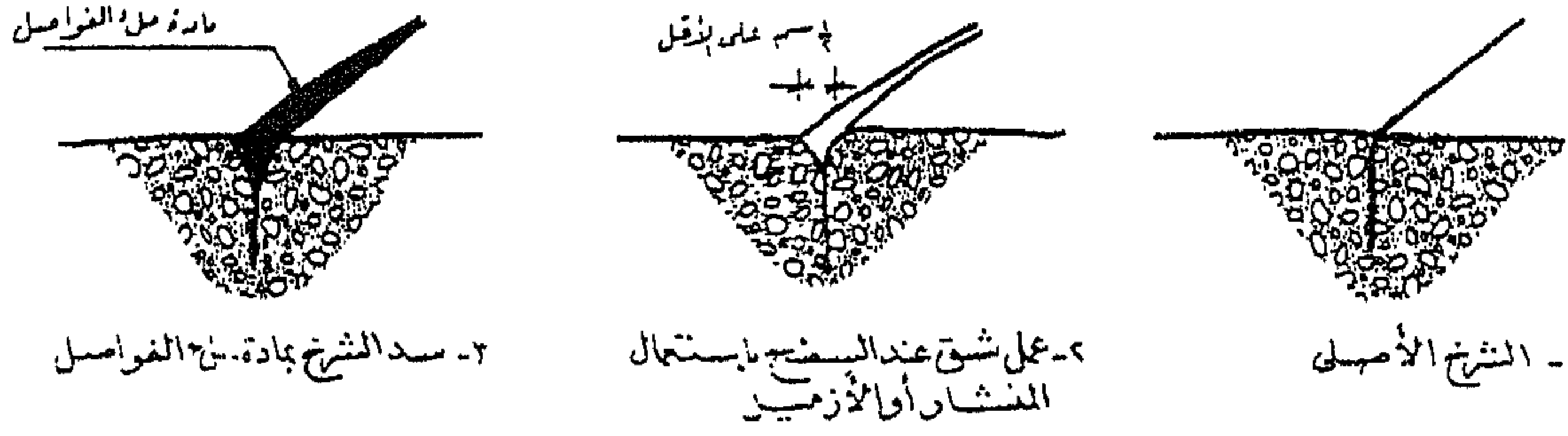
فى حالة الشروخ الأكثر نسبيا من الشروخ الشعرية تستعمل طريقة فتح الشروخ لسدها ، وهى عبارة عن توسيع الشرخ عند السطح الخارجى وملئه بأحد مواد ملء الفواصل (Joint sealant) المناسبة ، ويمكن ملء الشرخ بدون عملية توسيعه ولكن ذلك سيكون على حساب مظهر الشرخ بعد الإصلاح .

وهذه الطريقة هى أبسط طرق إصلاح الشروخ السطحية وأكثرها استعمالا ، ويمكن تنفيذها باستعمال عمالة نصف مدربة ، ولا تحتاج إلى عمالة ماهرة مثل طريقة الحقن ، سواء بالمونة أو بالإيبوكسى ، وهى تصلح لسد الشروخ المتقاربة والشروخ الأكبر المتباعدة ، ولكنها لا تصلح لسد الشروخ الحية - التى ينتظر أن تتسع فى المستقبل - ولا تصلح كذلك لسد الشروخ المعرضة لضغط ماء سلبى مؤثر ، وإنما يمكن استخدامها فى سد الشروخ فى الوجه المقابل للماء - ضغط ماء إيجابى .

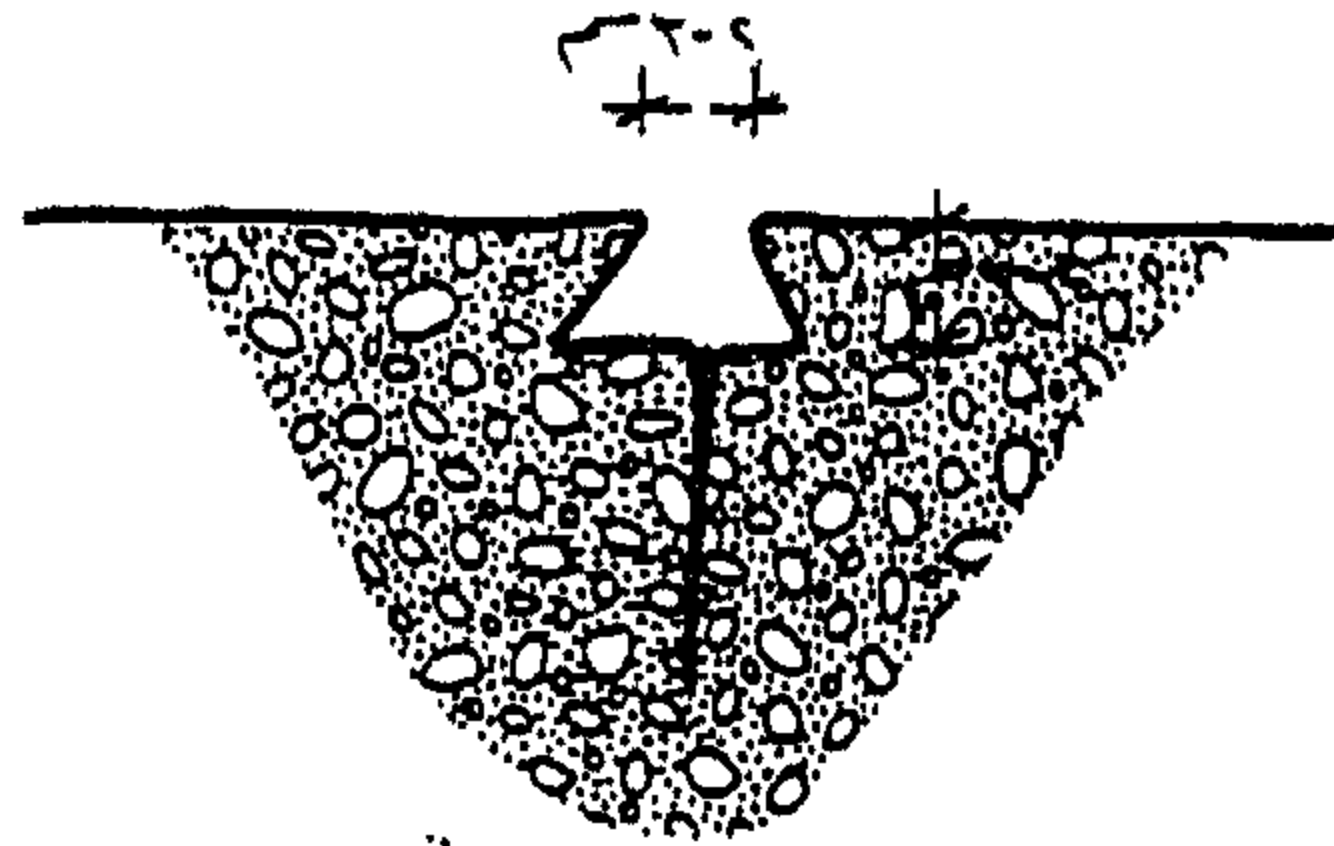
وتتلخص الطريقة فى توسعة الشرخ عند سطحه بعمل شق بطول الشرخ ، باتساع يكفى لوضع المادة المائلة - انظر شكل (٨ / ١٧) - وهذه التوسعة تعمل بواسطة منشار الخرسانة أو الشاكوش والأزميل بعرض على السطح لا يقل عن ٥ سم لأن ملء أى شق أقل عرضا من ذلك من الصعوبة بمكان .

ثم يتم تنظيف هذا الشق بواسطة مياه تحت ضغط لضمان خلوها تماما من الأتربة ثم يترك ليجف قبل وضع مادة ملء الفواصل فيه .

ومادة الملء المستعملة يمكن اختيارها من عدة مواد حسب المطلوب منها ، فإذا كان المطلوب مادة تبقى طويلا وتكون غير منفذة تماما للماء فيمكن استخدام المركبات الراتنجية ، ويظهر شكل (٨ / ١٨) بملحق الألوان ككرة الدورة الخارجية بعد سدها بالإيبوكسى ، أما إذا كان المظهر والعزل التام ليسا بنفس الأهمية فيمكن استخدام مواد الملء التى تصب فى الشق ، وهى سائلة مثل البيتومين الساخن وهى أرخص كثيرا ، وهناك العديد من مواد ملء الفواصل المتاحة فى السوق ، ولكن يجب أن يتم اختيار النوع والخواص المناسبة للغرض من العمل بواسطة خبير حتى نصل إلى أحسن النتائج ، وقد حددت المواصفات طريقة الملء وهى تعتمد على نوع المادة المستخدمة ومكان الشرخ ، ويجب اتباع هذه المواصفات بدقة للحصول على إصلاح دائم - مثلا المواصفات



شكل (٨ / ١٧) طريقة فتح الشروخ لسدها



شكل (٨ / ١٩) عمل شق عريض ملئه يدوياً بطريقة الملء الجاف

الأمريكية رقم ACI 504 (٩).

٤ / ٣ / ٥ / ٤ - الملء اليدوي بالمونة الجافة Dry Packing :

وهي طريقة يدوية تقوم على ملء الشرخ بمونة ذات محتوى مياه منخفض ، ثم تدمك جيداً باليد حتى تصل إلى تماسك كامل بين المونة والخرسانة القديمة ، ولأن نسبة الماء : الأسمنت منخفضة فإن الانكماش يكون قليلاً ، وتظل المونة متماسكة وبحالة جيدة بالنسبة للتحمل مع الزمن ، وكذلك بالنسبة لعزل الماء .

وتستعمل هذه الطريقة لعلاج الشروخ المعرض من السابقة إذا لم يكن هناك حاجة لملء الشرخ كله ، ويكتفى بعلاج الجزء القريب من السطح ، ولا تستخدم إذا كان هناك أى احتمال للحركة المستقبلية فى هذا الشرخ لأن إجهادات الشد للمونة ومطاطيتها ضعيفة وقبل الشروع فى ملء الشرخ لابد من عمل شق سطحى عريض عند الشرخ بعرض يتراوح بين ٢ - ٣ سم وعمق مساو لذلك - كما هو مبين في شكل (٨ / ١٩) - ويستحسن أن يكون العرض الداخلى للشق أكبر من عرضه عند السطح ، وأفضل طريقة لعمل مثل هذا الشق هو استخدام منشار الخرسانة الكهربائى .

وبعد تنظيف الشق جيدا بالماء (Water jet) ثم تركه يجف ، يتم دهانه بدهان للتماسك من اللباني - أسمنت وماء - أو المونة السائلة - أسمنت : رمل بنسبة ١ : ١ مع إضافة الماء حتى تصبح المونة سائلة - ثم توضع المونة الجافة مباشرة بعد ذلك ، وتتكون هذه المونة الجافة من جزء أسمنت : ٣ أجزاء رمل صغير - يمر من منخل رقم ١٦ (١,٢ مم) - ويوضع الماء بأقل كمية تسمح بخلط المونة وجعلها في هيئة عجينة يمكن تشكيلها ككرة باليد - أقل كمية ميا، ضرورية للوصول إلى عجينة - وإذا كان المطلوب أن يكون لون المونة مماثلا للون الخرسانة المحيطة بالشق فيمكن استعمال خليط من الأسمنت الأسمر والأبيض - الثلث أسمنت أبيض عادة يكون كافيا .

ولتقليل الانكماش لأقل حد ممكن يمكن ترك المونة بعد خلطها لمدة نصف ساعة ثم يعاد خلطها مرة ثانية قبل الاستعمال ، وتوضع المونة على طبقات لا يزيد سمكها عن ١ سم ويتم دمك كل طبقة دمكا تاما على كل السطح باستخدام عصا عريضة أو مطرقة ، ثم تمشط - يعمل بها فجوات - لزيادة التماسك مع الطبقة التالية ، ويجب وضع كل طبقة مباشرة بعد السابقة بدون وجود فترات زمنية بينها .

ويتم نهو المونة بوضع قطعة مسطحة من الخشب الصلد عليها والطرق عليها عدة مرات بالمطرقة ، ويمكن تحسين شكل السطح بمسه بقطعة من القماش أو الأسفنج ، ويجب معالجة المونة بتغطيتها بصفة مستمرة بعدة طبقات من الخيش المبلل .

٤ / ٥ / ٣ - طريقة الثقب والحشو (Drilling and plugging) :

وتستعمل هذه الطريقة لإصلاح الشروخ الرأسية العميقة في الحوائط الساندة وحوائط الخزانات وما يماثلها ، وتعتمد على عمل ثقب رأسى بطول الشرخ ثم ملئه باسطوانات من الخرسانة سابقة الصب أو المونة - انظر شكل (٨ / ٢٠) - ولا يصلح هذا الأسلوب في إصلاح إلا إذا كانت الشروخ مستقيمة إلى درجة معقولة ، ويمكن الوصول إليها من ناحية واحدة على الأقل .

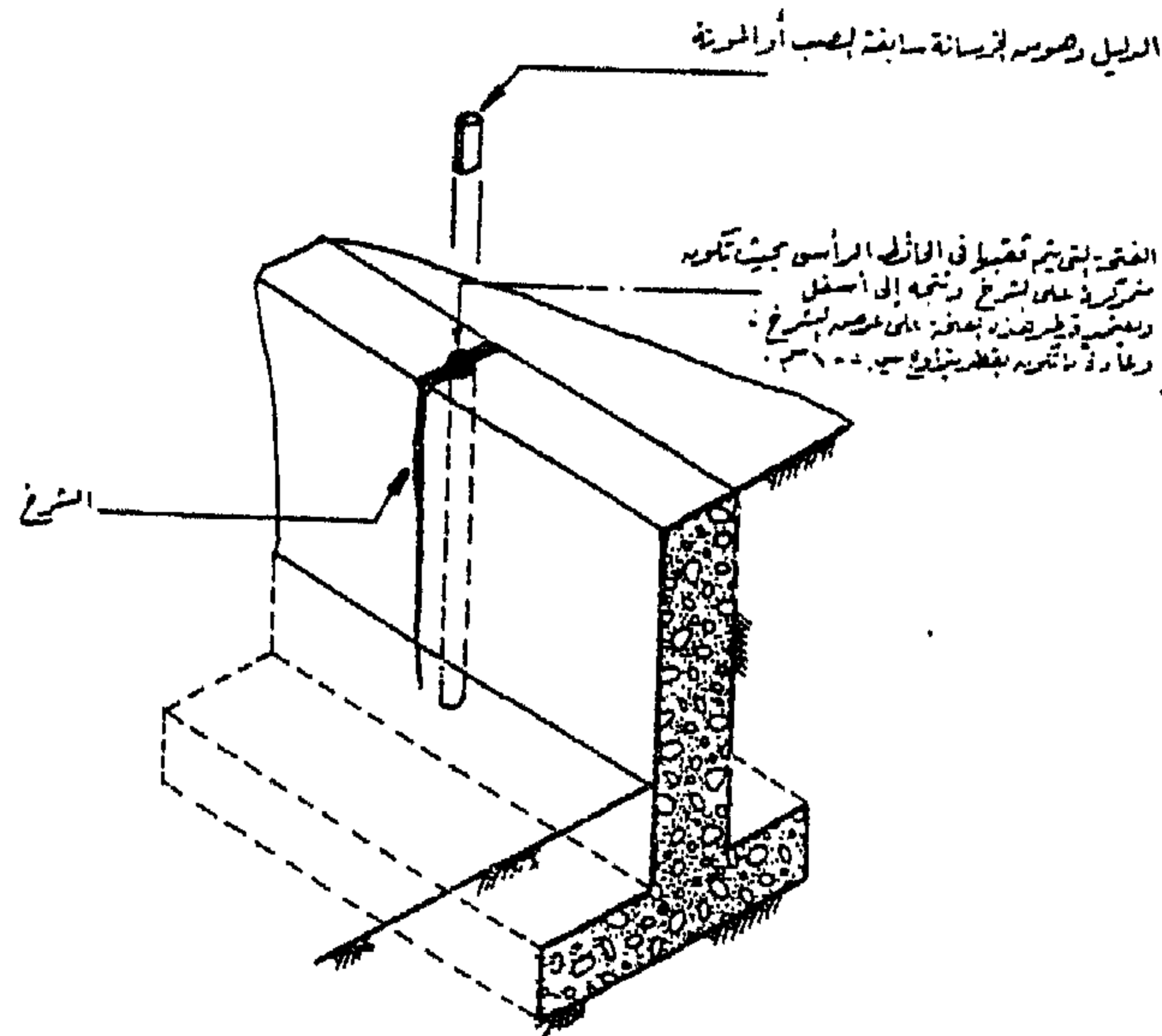
وطريقة التنفيذ تبدأ بعمل ثقب بقطر من ٥ - ٧ سم متمركز على الشرخ ويتبعه إلى أسفل ، ويتحدد القطر حسب اتساع الشرخ ، ويجب أن يكون الثقب واسعا بدرجة كافية ليتقابل مع الشرخ بكامل طوله ، وليوفر المساحة الكافية لاسطوانات الحشو التي يجب أن تقاوم الأحمال الواقعة عليها ، ثم يتم تنظيف الثقب تماما ويتم ملئه بمونة الحقن Grout باستخدام دليل اسطوانى أجوف من الخرسانة سابقة الصب أو المونة المغموسة في

البيتومين - شكل (٨ / ٢٠) - وهذا الدليل يمنع الحركة العرضية للخرسانة المحيطة بالشرح أثناء الحقن ، كما يمنع تسرب مونة الحقن من الشرح ويمنع هروب التربة خلف الشرح بسبب تسرب المياه والمونة منه ، وفائدة تغطية الدليل بالبيتومين هو عدم حدوث التصاق بين الدليل وجدار الثقب حتى لا يحدث شرخ فى الدليل بسبب حركة الشرح أثناء الحقن .

وفى حالة ما إذا كان عزل المياه مهما بدرجة كبيرة ومقاومة الأحمال الرأسية ليس مهما بنفس الدرجة فيمكن ملء الثقب بمادة ذات رجوعية كبيرة ومعاير مرونة أقل من المونة ، والحل الأكثر فاعلية هو ملء الثقب بالبيتومين ويمكن عمل ذلك بعد ملء الثقب بالمونة بعمل ثقب آخر أصغر منه يملأ بالبيتومين حيث يعمل الثقب الأول كدليل للثقب الثانى لمنع تسرب البيتومين من الشرح .

٤ / ٥ / ٣ - الحقن بالإيبوكسى Epoxy injection :

فى حالة الشروخ الضيقة جدا - ٠.٥ ، إلى ١.٥ مم - أو فى حالة الرغبة فى ملء الشرح بمادة أكثر صلابة من مونة الأسمنت ، فيمكن استخدام طريقة الحقن بالإيبوكسى ،



شكل (٨ / ٢٠) إصلاح الشروخ العميقة بطريقة الثقب والحشو

ويستخدم الحقن في الإصلاحات الإنشائية أيضا عندما يكون المطلوب أن يستعيد العضو المتصدع مقاومته أو جسأته - انظر قسم (٥ / ١) .

والحقن بالإيبوكسى يتطلب درجة عالية من المهارة ومعدات خاصة للحصول على نتائج مرضية ، وقد تحد درجات الحرارة المحيطة من استخدامه فى بعض الحالات - انظر مرجع (١٠ ، ١١) .

وتتلخص الطريقة فى سد الشرخ سدا سطحيا ، ثم حقنه من منافذ خاصة تحت ضغط ، هذه المنافذ يتم ثقبها أو إدخالها فى الشروخ ولصقها ، ويتم خلط الإيبوكسى ثم حقنه إذا كان ذلك سيتم بسرعة ، أما إذا كان مكان الشرخ يصعب الوصول إليه أو إذا كان الإيبوكسى سينتقل لمسافة كبيرة ، فيتم نقل المركبين المكونين للإيبوكسى فى خرطومين منفصلين ، ثم خلطهما وضخهما باستمرار من رأس خاصة بذلك .

والمعدات المستخدمة فى هذه الطريقة قد تتكون من خرطوم متصل إما بطلمبة تعمل باليد أو بوعاء ضغط توضع به خلطة المادة الراتنجية (Resin) والمادة المسببة للتصلد (Hardener) وهما المادتان المكونتان للإيبوكسى بالإضافة للمادة المائلة (Filler) - فى بعض الاستخدامات - وهو مثل الوعاء المستخدم فى الدهانات ، وقد يتصل الخرطوم بمسدس يعمل باليد ، وفى حالة استخدام هذه المعدات فيجب التخلص من خلطة الإيبوكسى بسرعة لأن التفاعلات الكيميائية المؤدية للشك تبدأ بمجرد خلط المركبين .

أما إذا كانت خلطة الإيبوكسى ستنقل لمسافة كبيرة أو تستعمل بعد مدة طويلة ، فيجب فى هذه الحالة استعمال معدة مختلفة ، يتم فيها نقل المركبين فى خرطومين منفصلين من طلمبات الضخ (Metering pumps) إلى رأس للخلط والضخ المستمر معا ، حيث يتم خلط المركبين أوماتيكيا قبل ضخ الخليط فى الشرخ مباشرة - شكل (٨ / ٢٢) .

وفى الباب السادس عرض لتاريخ استخدام الإيبوكسى وخصائصه وتركيباته وطريقة استخدامه .

طريقة التنفيذ :

١ - تنظيف الشروخ :

الخطوة الأولى هى تنظيف الشروخ من كل ما يمنع سريان الإيبوكسى أو يقلل التماسك مثل الزيت والشحم والرمل الناعم وفتات الخرسانة ، ويستحسن إزالة هذه

العوائق عن طريق ضخ الهواء المضغوط لإزالة التراب ، أو ضخ الماء لإزالة الرمل وكسر الخرسانة ، أو ضخ مذيب مناسب لإزالة الزيوت والشحوم ، وفي الحالتين الأخيرتين يستحسن ضخ الهواء المضغوط بعد ذلك لإتمام التجفيف .

٢ - سد الأسطح :

يجب سد الشروخ السطحية لمنع تسرب الإيوكسي منها وهو ما زال سائلا وقبل أن يصبح أغلظ قواما ، وفي حالة عدم القدرة على الوصول إلى سطح الشرخ - كما في حالة الوجه المقابل للتربة في الحائط الساند أو في البلاطة المصبوبة على الأرض (Slab - on - grade) - فإن التربة الطينية وطبقة الحجر الجيري تحت البلاطات تعتبر غطاء جيدا لسد الشروخ المقابلة لها .

ويتم سد سطح الشرخ بدهانة بأي مادة مناسبة تشك بسرعة (Fast - setting) ثم تركها تتصلد ، ويستعمل الإيوكسي أيضا في هذا كما تستعمل راتنجات البوليستر (pol- yester resin) والبلاستيك الحرارية (thermoplastic) ، وفي حالة الحاجة لضغط مرتفع للحقن فيجب فتح الشروخ بعمق ١ - ١,٥ سم وبعرض ٢ سم على هيئة رقم ٧ وملؤها بالإيوكسي وتسويتها بالسطح ، أما إذا كان هناك اعتراض معماري على أن يستمر المظهر الزجاجي للإيوكسي في الشروخ ولم تكن هناك حاجة للضغط المرتفع فيمكن استخدام شريط لاصق من البلاستيك المتين لسد الشروخ ، وبعد الحقن يزال الشريط اللاصق فيترك السطح غير لامع ، وكل المواد المستخدمة كدهانات لسد الشروخ يمكن كشطها بعد إتمام الحقن لإعادة سطح المونة الأصلي مع دهان سطح الشروخ بالمونة الأسمنتية .

٣ - تركيب منافذ الحقن :

ويمكن تركيب الحلقات البلاستيك المستخدمة في الحقن بإحدى طرق ثلاث :

أ - ثقب فتحات لإدخال الحلقات :

وهذه الطريقة هي أول طريقة تستعمل في الحقن ، وهي عادة ما تستخدم مع أسلوب فتح الشروخ على شكل رقم ٧ ، وفيها يتم ثقب فتحات في الشرخ الموسع قطرها ٢ سم وعمقها من ١ - ٢,٥ سم أسفل الرأس المدبب للرقم ٧ ، ثم توضع الحلقات وتلحم بلحام من الإيوكسي ، وهذه الحلقات أشبه بيلف العجلة (tire valve stem) - انظر شكل

(٨ / ٢١) - وعيب هذه الطريقة أن الثقب بالثقاب الكهربى يؤدى إلى انسداد الشرخ بأتربة الثقب إلا إذا استعمل مثقاب متصل بوحدة لسحب الهواء أثناء الثقب أو بمصدر ماء دوار (Water swivel) لغسل الثقوب والشروخ من الأتربة الناتجة عن الثقب ، وأنسب مسافات بين هذه الحلقات يتحدد بالخبرة ، ولكن يوصى بآلا تزيد هذه المسافات عن العمق المتوقع للشرخ ، وتتقارب الحلقات كلما كان الشرخ أقل اتساعا .

ب - لحام الحلقات :

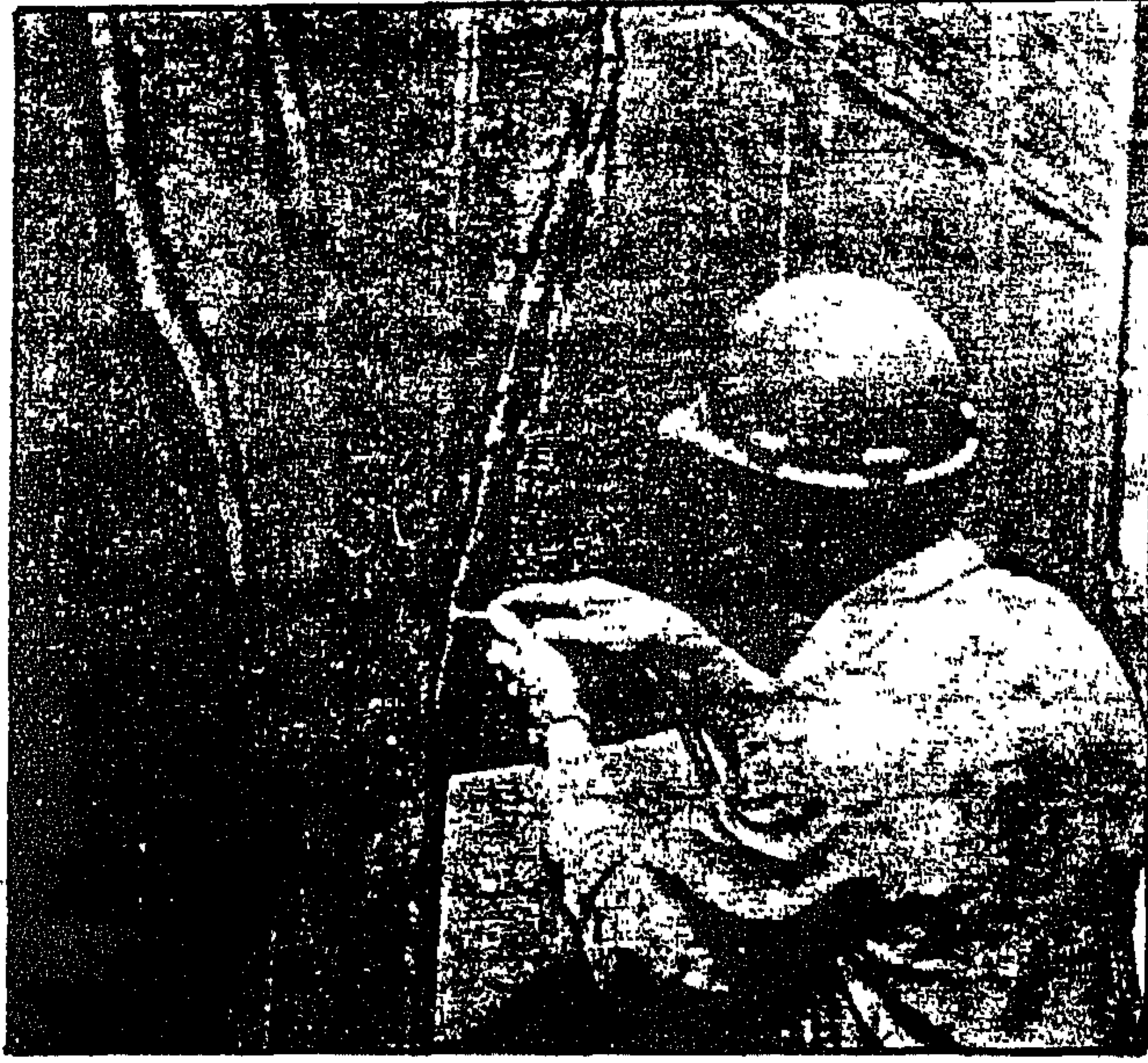
وتستعمل هذه الطريقة عندما لا يتم توسيع الشروخ على شكل رقم ٧ ، وفيها يتم لحام الحلقات على شكل حرف (T) على الشرخ ، بحيث يتم لحام الذراعين مع الخرسانة على جانبي الشرخ ، بينما يدخل الجزء الأجوف داخل الشرخ ليصبح منفذا للحقن ، وتمتاز هذه الطريقة بالنظافة لعدم استخدام المثقاب وبسهولة وهي الأكثر استعمالا .

ج - فتحات فى الغطاء (Interruption in seal) :

والطريقة الثالثة هى عدم سد أجزاء من الشرخ لترك منفذ للحقن ، ولكن يصعب استخدام هذه الطريقة إلا فى وجود أجهزة حقن خاصة (Gasket devices) حيث تغطى المنطقة غير المسدودة تماما ، بحيث يتم حقن الإيوكسى مباشرة داخل الشروخ بدون تسرب .

٤ - خلط الإيوكسى :

وهو إما أن يتم قبل الحقن أو أثناء الحقن - الخلط المستمر - والخط قبل الحقن يتم بالنسب التى تحددها مواصفات الشركة المنتجة وباستعمال التقليب الميكانيكى كما فى حالة خلط عجينة الدهانات ، ويجب العناية فى هذه الحالة بتحديد كمية المادة اللاحمة بدقة ؛ لأن خلط أى كمية زائدة يؤدى إلى بداية شك الإيوكسى ، وعندما يبدأ الشك يصبح الحقن أصعب ويزداد صعوبة مع الوقت ، ولذلك فلا بد من استعمال كل الكمية المخلوطة فى مدة محدودة ؛ لأن التفاعل الكيميائى المؤدى للشك يبدأ بمجرد خلط المادة اللاحمة والمادة المائلة ، ثم يتم تجهيز كمية جديدة وهكذا ، وقد يكون ذلك صعبا عندما يكون من الصعب الوصول إلى مكان الحقن - سهولة الوصول إلى العضو غير متوفرة - وفى هذه الحالة يوصى باستعمال الطريقة الثانية وهى طريقة الخلط المستمر ، وفيها يتم تغذية المركبين المكونين للإيوكسى عن طريق خرطومين منفصلين من الطلبية إلى الرأس ،



شكل (٢١ / ٨) حقن شروخ في كمره خرسانية بالإيوكسى
حيث يتم الحقن من أسفل حلمة إلى أعلى



شكل (٢٢ / ٨) رأس « الخلط والضح للإيوكسى حيث يتم
تغذية المركبين بخراطومين منفصلين ويتم الخلط والضح بلحقن آلياً

حيث يتم خلط هذين المركبين أتوماتيكيا بالنسب الصحيحة ، ثم ضخ الخليط في الشروخ في عملية مستمرة - انظر شكل (٨ / ٢٢) - وفي هذه الحالة لا تمثل صعوبة الوصول للشرخ مشكلة ولا طول خراطيم نقل المواد ، إذ أن الخلط لا يتم إلا قبل الضخ مباشرة ، وتسمح هذه الطريقة باستخدام المواد اللاحمة سريعة الشك .

٥ - ضخ الإيوكسي :

ويستعمل للضخ الطلمبات الهيدروليكية أو أوعية الضغط - المستعملة في الدهانات - كما يمكن استعمال المسدسات التي تعمل باليد ، ويجب تحديد الضغط المطلوب بعناية وتحديد الخبرة وطبيعة الشروخ وقد يكون الضغط المعتدل أو الضغط المتغير أكثر كفاءة من الضغط العالي المستمر ، وعيوب الضغط الزائد أنه قد يسبب اتساع الشروخ وزيادة التدهور ، وقد يؤدي إلى فتح غطاء سد الشروخ ، كما قد يجعل الإيوكسي يسلك الطريق الأقل مقاومة - قرب السطح - بدلا من أن يتغلغل بعمق في الشرخ ، وقد لوحظ أن تأثير زيادة الضغط قليل على سرعة الضخ ، ولذا يجب تزويد ماكينة الضخ بمقياس للضغط لضبط قيمته .

وفي حالة الشروخ في الأسطح الرأسية يبدأ بضخ الإيوكسي في أسفل منفذ - شكل (٨ / ٢١) - حتى يظهر الإيوكسي من المنفذ الأعلى ، ثم يسد المنفذ الأسفل ويكرر العمل في المنافذ العليا حتى يتم ملء الشرخ كله ويتم سد كل المنافذ .

أما في حالة الشروخ الأفقية فيبدأ الحقن من أي طرف ، ويستمر بنفس الطريقة حتى يصل إلى الطرف الآخر ، وامتلاء الشرخ يعرف عند ثبات الضغط أثناء الحقن ، أما إذا لم يثبت الضغط فمعنى ذلك أن الإيوكسي ما زال يسيل في الأماكن التي لم تملأ بعد من الشرخ أو أن هناك تسربا للإيوكسي من مكان ما .

٦ - إزالة الغطاء السطحي :

بعد ما يتصلد الإيوكسي الذي تم حقنه يتم إزالة الغطاء السطحي عن طريق الكشط أو بأي طريقة مناسبة ، ويتم دهان الفتحات ومنافذ الضخ بأحد مركبات الإيوكسي .

ومن البديهي القول بأنه يجب تنظيف معدات الإيوكسي أولا بأول ، وإلا فسوف يتصلد الإيوكسي بداخلها ويسبب انسدادها ، ويصعب جدا في هذه الحالة إزالته .

٤ / ٥ / ٣ / ٧ - الحقن بالمونة Grouting :

أ - الحقن بمونة الأسمنت :

وتستعمل هذه الطريقة لملء الشروخ العريضة وخاصة فى السدود أو الحوائط الخرسانية السميكة ، حيث تملأ الشروخ بمونة الأسمنت البروتلاندى تحت ضغط .

خطوات التنفيذ :

- ١ - ينظف الشرخ تماما - كما سبق إيضاحه فى الجزء (٤ / ٥ / ٦) .
 - ٢ - تركيب منافذ للحقن - حلقات أو قطع خاصة - على مسافات بطول الشرخ ، وتعمل زاوية مع الشرخ - ليست رأسية عليه - لكى لا يكون هناك تسرب للهواء ، ولكى تحصل على ضغط ثابت من جهاز الحقن وخلال المسار كله .
 - ٣ - تسد الشروخ بين منافذ الحقن بدهان أسمنتى أو مواد تغطية الفواصل أو مونة .
 - ٤ - يدفع ماء تحت ضغط فى الشرخ لتنظيفه بعد عملية السد السطحي واختيار الغطاء السطحي فى نفس الوقت .
 - ٥ - حقن المونة فى الشرخ كله من منفذ لآخر - كما سبق إيضاحه فى الجزء (٤ / ٥ / ٦) - ومادة الحقن قد تكون من الأسمنت والماء فقط أو من الأسمنت والرمل والماء حسب عرض الشرخ ، وفى كل الأحوال يجب أن تكون نسبة الماء : الأسمنت أقل ما يمكن لتعظيم الإجهاد وتقليل الانكماش إلى أقل حد ممكن ، ويمكن استخدام إضافات تحسين التشغيل أو أى إضافات أخرى تؤدي إلى تقليل كمية الماء فى مادة الحقن وتحسين خواصها .
- وفى الأعمال الصغيرة يمكن استخدام مسدس الحقن اليدوى ، أما فى الأعمال الكبيرة فلا بد من استعمال مضخة ، ويجب المحافظة على قيمة الضغط لبضعة دقائق بعد الانتهاء من ملء الشرخ للتأكد من أن مادة الحقن قد تغلغلت فى الشرخ كله .

ب - الحقن بالكيمويات :

وتستعمل لملء الشروخ الأقل عرضا والتي لا تصلح لها مونة الأسمنت أو عند الرغبة فى الحصول على مواصفات خاصة فى مادة الحقن ، وتتكون مادة الحقن فى هذه الحالة من محاليل من مادتين كيميائيتين أو أكثر تتحدان لتكونا مادة جيلاينية (Gel)

أو مادة صلبة مترسبة (solid precipitate) أو مادة منتفشة (Foam) ، أما في حالة المونة الأساسية فمادة الحقل مختلفة حيث تكون من معلق من الجزيئات الصلبة في سائل ، وقد يمكن حقن شروخ في أعضاء خرسانية لا يريد عرضها عن ٥ ، ١٠ مم باستعمال الكيماويات .

ومميزات الحقن بالكيماويات تشمل قابليتها للتشغيل في الأجواء الرطبة ، وإمكانية واسعة للتحكم في وقت التحول إلى جيلاتين (Gel time) وإمكانية حقن الشروخ المصنعة بها . أما عيوبها فتتركز في درجة المهارة المطلوبة في العمالة لكي نحصل على حقن سليم وضعف مقاومتها للأحماض وأنها تتطلب عدم حدوث جفاف شديد أثناء استعمال المبنى .

٤ / ٥ / ٣ / ٨ - طريقة التشرب بالبوليمرات (١٢) Ploymer impregnation :

يمكن استعمال السوائل أحادية الجزيئات (Monomer systems) التي تتحول إلى مادة بلاستيكية بكفاءة في إصلاح شروخ الخرسانة ، هذه السوائل تتكون من جزيئات عضوية قادرة على الاتحاد لتكون مادة بلاستيكية صلبة ، وهذه السوائل لها درجات مختلفة من التطاير والسمية (Toxicity) والقابلية للاشتعال ولا تذوب في الماء ، وهي على درجة عالية من السيولة وستتسرب خلال الخرسانة الجافة فتتشربها الخرسانة بحيث تملأ الشروخ كما يفعل الماء تماما .

والسوائل الأحادية التي نستعمل في ملء الشروخ بالتشرب تحتوي على مادة بادئة بالإضافة إلى المادة الأحادية الأساسية (Basic monomer or combination of mono-mers) ، كما يمكن أن تحتوي أيضا على مادة رابطة (Cross - linking agent) . وعندما يتم تسخين هذه السوائل الأحادية تتحد معا أو يتبلر (Polymerize) مكونة مادة بلاستيكية قوية ومتينة وتحمل مع الزمن ، وهذه المادة تؤدي إلى تحسين عدد من خواص الخرسانة تحسينا كبيرا - راجع الباب السادس .

طريقة التنفيذ :

- ١ - جفف سطح الخرسانة .
 - ٢ - اغمره بالسائل الأحادي واتركه يتبلر (Polymerize) في مكانه .
 - ٣ - عندما تمتلئ الشروخ نكون قد حصلنا على الإصلاح المطلوب .
- ولا تعطى هذه الطريقة نتائج مرضية إذا كانت الشروخ في وسط رطب لأن السائل

لن يتسرب إلى الشروخ من السطح كما يجب ، كما لا تعطى نتائج مرضية أيضا إذا استعملت سوائل متطايرة وتطايرت قبل التبلر ، ولا تستعمل هذه الطريقة بكفاءة في إصلاح الشروخ الضيقة جدا .

وقد استعملت هذه الطريقة في بعض الإصلاحات الإنشائية مثل إصلاح الكمرات المشرخة ، حيث تم تجفيف الشروخ وتغليفها بألواح معدنية غير منفذة للماء ولا تتفاعل مع السائل المستخدم وتم إغراق الشروخ بالسائل وترك يتبلر فعادت الكمرة كما كانت .

كما استعملت في الإصلاحات الكبيرة سواء في الفجوات الكبيرة أو المناطق المكسورة حيث تملأ الفجوة أولا بالركام الصغير والكبير ثم تغمر بالسائل ، وبعد التبلر نحصل على عضو خرساني - بوليمرى ، واستخدام البوليمرات في إصلاح الخرسانة مبين بالتفصيل في مرجع (١٢) .

٤ / ٥ / ٢ / ٩ - طريقة الالتئام الذاتي Autogenous healing :

وهناك إصلاح طبيعي يحدث للخرسانة المسلحة في وجود الرطوبة ولكن في غيبة إجهادات الشد هو طريقة الالتئام الذاتي (١٣) ، ولهذه الطريقة استخدامات عملية لإغلاق الشروخ غير المعرضة لحركة مستقبلية في الوسط الرطب مثل شروخ الخرسانة الكتلية .

ويحدث الالتئام عن طريق التحول الكربوني لهيدروكسيد الكالسيوم الموجود في مونة الأسمنت عن طريق ثانى أكسيد الكربون الموجود بالهواء والماء المحيط ، وترسب بلورات كربونات الكالسيوم وهيدروكسيد الكالسيوم في الشروخ وتتجمع ويزداد حجمها ، وتشابك هذه البلورات .

وتتزاوج منتجة زباطا ميكانيكيا بين البلورات المتجاورة وبينها وبين مونة الأسمنت والركام ، ويزداد هذا الرباط الميكانيكى قوة بالرباط الكيميائى المتكون ، وكنتيجه لهذا يمكن استرجاع بعض المقاومة لإجهادات الشد عبر الشروخ ، ويتم سد الشرخ بهذا البلورات المترسبة فيه .

ولن يحدث التئام إذا كان الشرخ حيا وتحدث به حركة أثناء الفترة اللازمة لإتمام الالتئام ، كما لن يحدث التئام إذا كانت هناك حركة انسياب للمياه خلال الشرخ لأنها تذيب وتغسل ترسيب الجير إلا إذا كانت هذه الحركة بطيئة جدا ، ويحدث تبخر كامل على السطح الخارجى للشرخ مما يؤدي إلى ترسيب جديد للأملاح الذائبة .

وغمر الشرخ والخرسانة المحيطة به بالماء أثناء الالتئام شرط أساسى للحصول على

مقاومة معقولة ، فإذا كان الشرخ تحت الماء فلا توجد مشاكل ، وإن لم يكن فلا بد من غمر سطح الخرسانة المحتوى على الشرخ بالماء أثناء الالتئام وبصفة مستمرة ، ويجب الحذر من جفاف سطح الخرسانة لأن أى جفاف يعقبه غمر - ولو حدث ذلك مرة واحدة - سيتسبب فى انخفاض شديد فى مقاومة الالتئام ، ويستحسن بدأ عملية الالتئام بأسرع ما يمكن عند ظهور الشرخ لأن تأخير الالتئام سيؤدى إلى انخفاض المقاومة المسترجعة بالمقارنة بالالتئام الذى يبدأ مباشرة ، أى أن هذه الطريقة تستخدم أكثر مع شروخ الخرسانة اللدنة .

ثانيا : طرق الإصلاح فى حالة توقع حركة فى الشروخ مستقبلية :

٤ / ٥ / ٣ / ١٠ - التغطية بمادة مطاطة Flexible sealing :

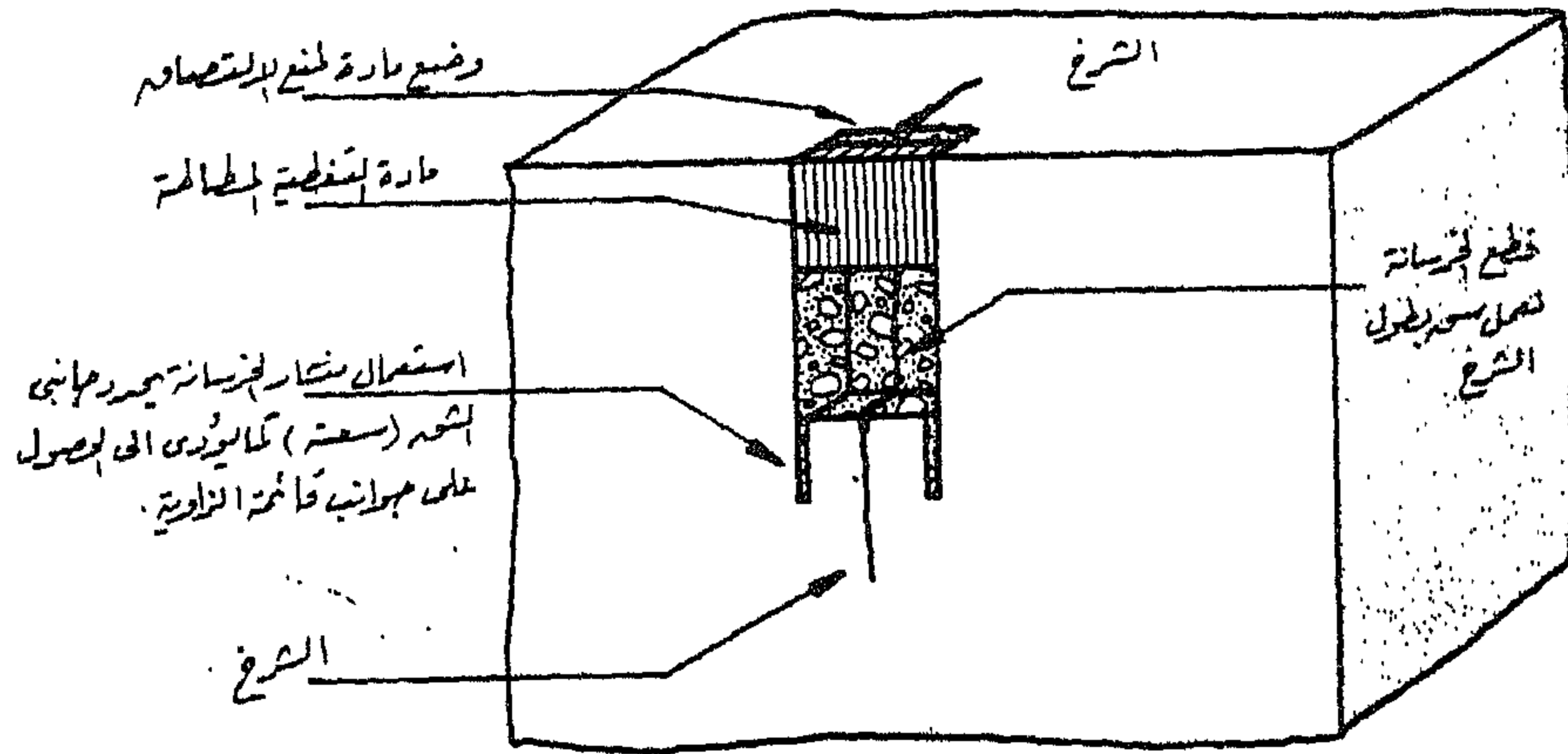
عند توقع حركة مستقبلية ملموسة فى الشرخ ، فلا بد من توسيع الشرخ سطحيا لكى تكون مادة ملء الشرخ المطاطة أوسع بكثير من الشرخ نفسه ، لتقليل الانفعال الذى سيحدث بها إلى أقل حد ممكن .

خطوات التنفيذ :

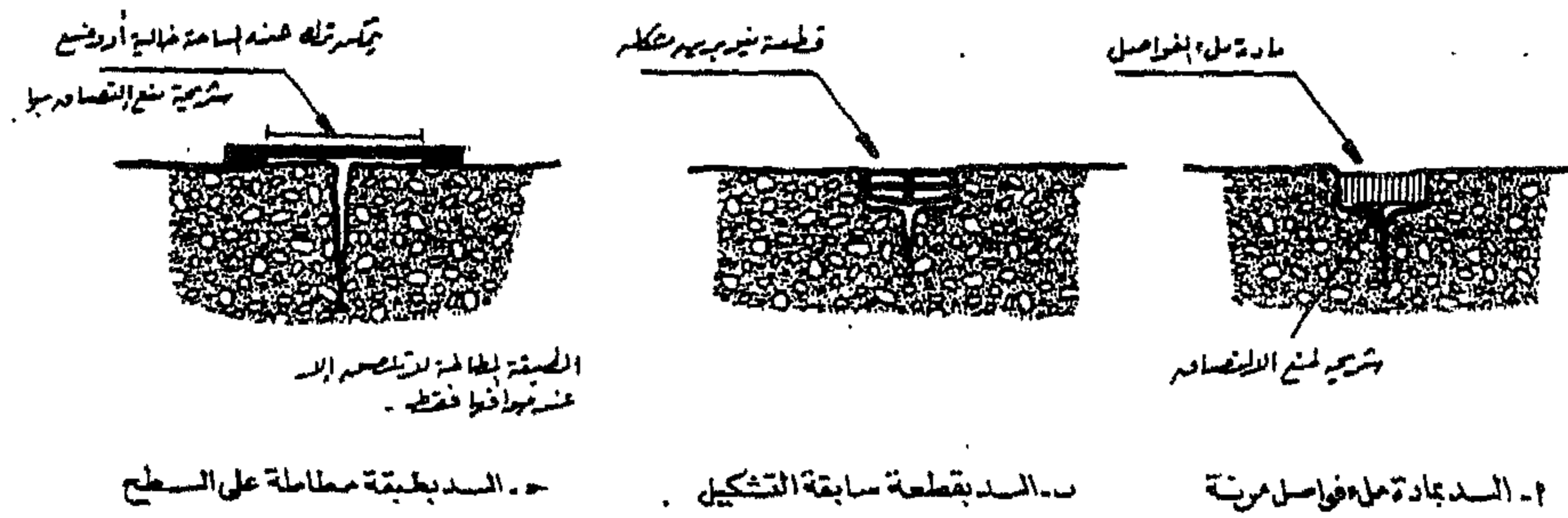
١ - يتم عمل شق بطول الشرخ باستعمال منشار الخرسانة ، وهذا الشق يجب بقدر الإمكان أن يكون مساويا فى العمق والعرض مع فاصل تمدد يستطيع تحمل حركة مساوية لحركة الشرخ المتوقعة ، أى يتم تقدير قيمة اتساع الشرخ مستقبلا - كما هو موضح فى الملحق فى نهاية الكتاب - ثم بمعرفة قدرة المادة التى ستستعمل فى ملء الشرخ على الاستطالة يتم تحديد عرضها - أى عرض الشق - ويجب أن يكون هذا الشق قائم الزوايا ومن الأفضل استخدام منشار الخرسانة فى عمله - انظر شكل (٢٣ / ٨) .

٢ - يتم تنظيف الشرخ عن طريق الرمال المندفعة (Sand blast) أو الهواء أو الماء المضغوط أو هى معا .

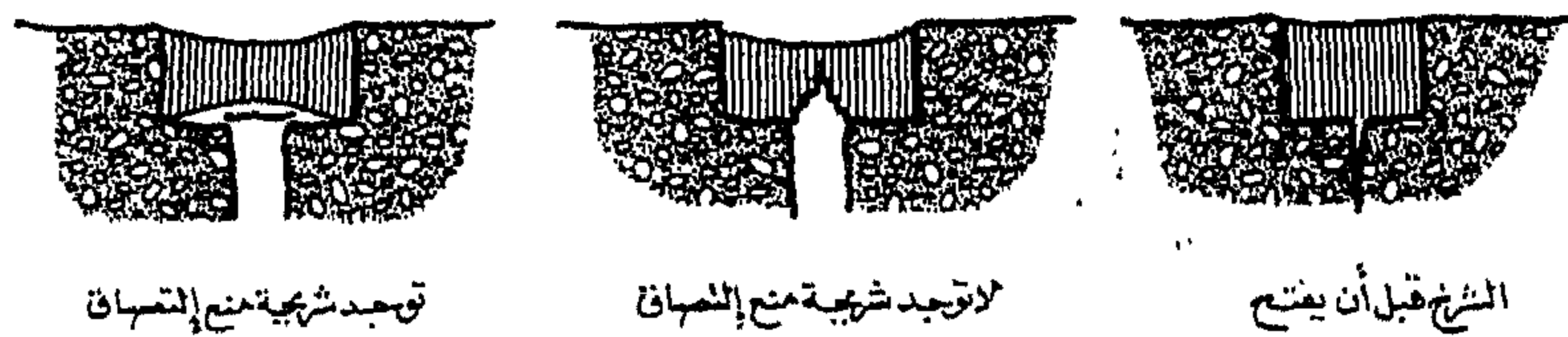
٣ - يمكن ملء الشق بعد ذلك بمادة مطاطة مشكلة حسب عرض الشق - تشكل بالموقع - هذه المادة يمكن أن تكون من المطاط العادى أو البيتومين أو المطاط البيتومينى ، كما يمكن استعمال شريحة مرنة تلتصق على سطح الشرخ - كما هو موضح فى شكل (٢٤ / ٨) - ويجب أن يخضع اختيار هذه المادة ومواصفات



شكل (٨ / ٢٣) استعمال منشار الخرسانة لعمل شق بطول الشرف



شكل (٨ / ٢٤) طرق سد الشروخ الحية



شكل (٨ / ٢٥) فائدة شريحة منع الالتصاق

تشغيلها لمواصفات اختيار وتشغيل مواد ملء الفواصل - مثل المواصفات الموجودة في مرجع (٩) .

وفي كلتا الحالتين - حالة ملء الشرخ أو وضع شريحة على سطحه - يستحسن الشروع في العمل عندما يكون الشرخ في أوسع حالاته ؛ لتقليل الانفعال الذي سيحدث في المادة المطاطة عند اتساع الشرخ مستقبلا إلى أقل حد ممكن .

٤ - قبل ملء الشق بالمادة المطاطة يجب وضع شريحة لمنع الالتصاق في قاع الشق ، وفائدة هذه الشريحة - كما يظهر في شكل (٨ / ٢٥) - هو السماح للمادة المطاطة بتغيير شكلها عند اتساع الشرخ بدون حدوث تركيز في الإجهادات عند القاع ، ولكن يجب التأكد في هذه الحالة من أن المادة المطاطة ملتصقة تماما بجانبى الشق ، حيث إنها غير ملتصقة بقاعه ، وشريحة منع الالتصاق قد تكون شريحة من البوليثلين أو شريط لاصق أو أى مادة لا تلتصق بالمادة المطاطة أثناء صبها أو بعد تصلدها .

٥ - أما في حالة وضع شريحة مطاطة على سطح الشرخ - وتستعمل لتغطية الشروخ الرفيعة عندما لا يكون المظهر المعماري مهما - فيمكن لصق الشريحة على الخرسانة السطحية على جانبى الشرخ بدون لصقها فوق الشرخ - كما في شكل (٨ / ٢٤ ج) - أو يمكن وضع شريحة ذات عرض صغير لمنع الالتصاق تحتها - فوق الشرخ - ثم يتم فرد المادة المطاطية التى تستعمل لملء الفواصل على هذه الشريحة ، بحيث تتوفر مساحة كافية لالتصاقها بالخرسانة على جانبى شريحة منع الالتصاق ، وهذه طريقة اقتصادية جدا ويمكن استعمالها في الشروخ الداخلية في خزان أو شروخ الأسطح أو المناطق غير المعرضة للاحتكاك أو المرور فوقها .

وفي حالة ما إذا كانت الحركة المتوقعة بسيطة جدا ، فيمكن دهان عدة أوجه من مادة القار أو البولى ريثان للحصول على غطاء سطحي متميز (High - build) .

٦ - فى بعض الأحوال يتم عمل تجهيزات لإخفاء الحركة المستقبلية للشرخ ، فمثلا يمكن البياض بمونة الأسمنت والرمل فوق المادة المألثة للشرخ ، مع عمل فراغ صغير (Narrow gap) به حتى يسمح للشرخ أن يتحرك بدون تشريح للبياض ، حيث إن الشرخ سيكون مختفيا داخل الفراغ ، ومن المستحيل إخفاء شرخ ظاهر فى حالة بياض السطح ولكن سده بالمادة المطاطة سيقبل من احتمالات كونه أكثر ظهورا فى المستقبل حيث تتجمع الأتربة به .

٤ / ٦ - إصلاح التدهور نتيجة صدأ الصلب :

قد يكون صدأ الصلب هو سبب معظم التدهور الحادث في منطقتنا العريية ، ولذا فإننا سنتعرض لوسائل إصلاح هذا التدهور بشيء من التفصيل .

٤ / ٦ / ١ - أسباب العيب :

كما سبق ذكره - في قسم (٢ / ٢ / ٦) من الباب الرابع - فإن أسباب صدأ الحديد يمكن تلخيصها في أسباب فقد الحماية السلبية نتيجة فقد الخرسانة لقاعدتها ، الأس الهيدروجيني (pH) يقل عن ١٠ وذلك نتيجة لعامل أو أكثر من العوامل الآتية :

أ - أبخرة أو محاليل حمضية يتعرض لها العضو الخرساني .

ب - التحول الكربوني (Carbonation) لخرسانة الغطاء الخارجي .

ج - تغلغل الكلوريدات في الخرسانة من الخارج أو وجودها في الخلطة الخرسانية أصلا .

د - وجود شروخ سطحية - لأسباب غير الصدأ - بعمق يصل إلى الأسياخ ، خصوصا إذا كانت موازية لها .

فإذا فقدت أسياخ التسليح الحماية التي توفرها لها الخرسانة مع وجود الرطوبة والأكسجين - وهما وقود عملية الصدأ - فإن صدأ الحديد يبدأ ، والاختلاف الكبير في الوقت الذي تستغرقه بداية ظهور الصدأ في الأعضاء الخرسانية المعرضة لنفس الظروف الجوية سببه اختلاف جودة الخرسانة ، وسمك الغطاء بهذه الأعضاء ، فجودة الخرسانة ممثلة في خواصها الميكانيكية وتحملها مع الزمن وعدم نفاذيتها ، وكذلك سمك الغطاء الخرساني يؤثر تأثيرا كبيرا في المدة التي تمضي قبل بداية الصدأ ، كما أن توافر الرطوبة والأكسجين يؤثر في معدل وسرعة الصدأ .

وعندما يحدث الصدأ فإن ناتج الصدأ يحتاج حجما أكبر من حجم الحديد الأصلي ، مما يجعله مع مرور الوقت يضغط على الخرسانة المحيطة مسببا تشققها الذي يتزايد مع ازدياد الصدأ حتى يؤدي في النهاية إلى تساقطها - انظر شكل (٢٨ / ٤) بالباب الرابع - وفي هذه الحالة لا يكون الحديد عاريا ومعرضا لمزيد من الصدأ فقط وإنما لا يصبح هناك تماسك كامل بين الحديد وبين الخرسانة بحيث تنتقل إجهادات الشد إلى الحديد ، وفي هذه الحالة يصبح الانهيار محتملا ، رغم أنه قد يستغرق وقتا - هذا الوقت يكون أطول في

البلاطات عن الكمرات نتيجة التصرف العقدي (Arch action) الذى يتكون عند تقوس البلاطة .

٤ / ٦ / ٢ - الغرض من الإصلاح :

١ - استرجاع حماية الخرسانة لأسياخ التسليح - عندما يكون صدأ الأسياخ لم يصل إلى درجة نقص المقاومة نقصاً مؤثراً .

٢ - استرجاع مقاومة العضو للأحمال .

٣ - منع أو إبطاء التدهور المستقبلى .

١ - استرجاع حماية الخرسانة لحديد التسليح :

ويتم ذلك بإحدى طريقتين :

• إما باستعادة القاعدة المفقودة للخرسانة حول الأسياخ .

• أو بمنع الرطوبة والأكسجين من الوصول إلى الأسياخ .

واستعمال الأسمنت كمادة لاحمة فى خرسانة أو مونة الإصلاح - سواء بالصب أو الرش أو البياض - سيؤدى بطبيعة الحال إلى استعادة القاعدة المفقودة ، ولكن حماية الأسياخ فى هذه الحالة ستعتمد على معدل التحول الكربونى لمونة الإصلاح ، ولكن إذا لم يتوفر الجو القاعدى حول الأسياخ فإن منع الرطوبة والأكسجين من الوصول إليها سيؤدى إلى حماية فعالة كذلك ، وتتم الحماية فى هذه الحالة عند الإصلاح باستعمال المونة الراتنجية (Resin mortar) والتى تمتاز بقلّة نفاذيتها بحيث لا تصل الرطوبة أو الأكسجين إلى الأسياخ .

والمفاضلة بين الطريقتين تعتمد على ظروف كل حالة ، حيث إنه يمكن الحصول على إصلاح جيد باستعمال أيهما ، فالطريقة الأولى - مونة أسمنتية - أسهل وأوفر ، وتستعمل عادة فى الإصلاحات الكبيرة ، أما الطريقة الثانية - مونة راتنجية - فهى أكثر تكلفة ولا تستخدم إلا فى حالات خاصة ، ويجب عند المفاضلة بين الطريقتين الأخذ فى الاعتبار أسياخ الصلب ، فعند إصلاح جزء من الكمرة أو العמוד وليس كل الكمرة أو العמוד - وهى الحالة الأكثر شيوعاً - فإن سيخ الصلب فى هذه الحالة سيصبح جزء منه فى الخرسانة الأصلية وجزء آخر فى مونة الإصلاح ، أى أن جزئين متلاصقين فى السيخ الواحد سيصبحان فى محيطين مختلفين ، والمفاضلة بين الطريقتين فى هذه الحالة هو تقدير

المشاكل التى قد تظهر فى أسياخ الصلب فى كل حالة حسب ظروفها .

٢ - استرجاع مقاومة العضو :

عندما يصل التدهور إلى الحد الذى يسبب نقصا مؤثرا فى قدرة العضو على تحمل الأحمال ، فلا بد أن يؤدى الإصلاح إلى استرجاع هذه المقاومة ، وهذا يتم بإحدى طريقتين :

* زيادة القطاع الخرسانى - وذلك بصب خرسانة جديدة أو رشها .

* زيادة التسليح أو استبدال الأسياخ الصدأ .

٣ - منع أو إبطاء التدهور المستقبلى :

حيث إن سبب التدهور أصلا إما أن يكون :

* نقص الغطاء الخرسانى ووجود شروخ سطحية .

* أو نفاذية كبيرة للخرسانة تؤدى إلى أن يصل التحول الكربونى إلى الحديد .

* أو وجود الكلوريدات سواء بداخل الخلطة أو من مصادر خارجية .

فإن منع أو إبطاء التدهور المستقبلى سيعتمد بدرجة كبيرة على معالجة أسباب التدهور الثلاثة .

* فوجود الكلوريدات إذا كان داخل الخلطة فمن الصعب معالجة سطح الخرسانة بحيث يتم منع الصدأ المستقبلى ، وهناك بعض التجارب التى قابلت نجاحا مثل التشرب بالبوليمرات (Polymer imprgnation) وإزالة الكلوريدات بالطرق الكهروميكانيكية ولكنها مازالت تحت التطوير ^(١٤) ، ولكن قد يكون من الممكن إبطاء معدلات التفاعلات الناشئة عن وجود الكلوريدات عن طريق عزل الخرسانة جيدا ضد الرطوبة ، حيث إن هذه التفاعلات تحتاج إلى كمية - وإن كانت ضئيلة - من الهواء والرطوبة ، وينبغى هنا ملاحظة أنه لا يمكن تغطية الخرسانة بطبقة غير منفذة مائة بالمائة .

* أما التحول الكربونى للخرسانة السطحية فيمكن تخفيض معدله بعزل السطح بطبقات عازلة لثانى أكسيد الكربونى ، ويصبح هذا العزل فعالا فى منع التدهور المستقبلى إذا كان التحول الكربونى لم يصل للخرسانة المحيطة بالأسياخ ، ولكن فعالية هذا العزل

فى منع صدأ الصلب المحاط بخرسانة تحولت كربونيا ولم يبدأ الصدأ بعدُ تعتمد على العزل ضد الرطوبة كذلك ، ويصبح إبطاء الصدأ - وليس منعه - هو الممكن فى هذه الحالة ، ولكن حتى هذا يمكن أن يمد فى العمر الافتراضى للمبنى سنوات عديدة ، ويجب الأخذ فى الاعتبار أن التحول الكربونى يحدث فى الأعضاء الداخلية بمعدل أسرع من الأعضاء الخارجية ويجب العناية بعزلها عن ثانى أكسيد الكربون ، وفى هذه الحالة يمكن عمل تركيبة للمادة العازلة بحيث يكون عزلها لثانى أكسيد الكربون أكبر من عزلها للرطوبة ، وميزة مثل هذه المادة العازلة أنها ستنعم بحياة أطول ، حيث إن العمر الافتراضى للمواد العازلة التى تسمح بنفاذ الرطوبة يكون أطول على أسطح الطوب والحجر والخرسانة .

« أما إذا كان التحول الكربونى كبيراً ونسبة الكلوريدات عالية فى نفس الوقت ، فإن عزل الخرسانة لن يؤدى إلى وقف عملية الصدأ ، ويجب إزالة هذه الخرسانة واستبدالها .

« أما نقص الغطاء الخرسانى فيصبح مشكلة إذا كانت جودة وكثافة الخرسانة منخفضة ، ووسائل منع التدهور المستقبلى فى هذه الحالة هى نفسها وسائل منع التحول الكربونى ، ولكن عند وجود شروخ سطحية فلا بد من سدها قبل عزل الخرسانة لمنع التدهور المستقبلى ، ولكنه من المهم جدا التفرقة بين الشروخ التى سببت الصدأ وتلك التى سببها الصدأ ، فالأولى تكون من أحد الأنواع المذكورة فى الباب الرابع وسدها يكون بأحد الوسائل المذكورة فى قسم (٤ / ٥) من هذا الباب ، أما الأخيرة فسدها لن يزيل سبب تكونها - وهو السبب المؤدى إلى الصدأ - وستحدث شروخ جديدة مستقبلاً ، ولذا فالشروخ التى سببها الصدأ لا يتم سدها وإنما يتم معالجة أسباب الصدأ المسببة لها .

٤ / ٦ / ٣ - إعداد العضو للإصلاح :

٤ / ٦ / ٣ / ١ - إزالة الغطاء الخرسانى :

عندما يصل الصدأ فى الحديد إلى الحد الذى يسبب شروخاً بالغطاء الخرسانى فيجب إزالة هذا الغطاء قبل الشروع فى الإصلاح ، ويتم إزالة الخرسانة إلى مستوى الأسياخ وأحياناً ٥ سم خلف الأسياخ كما سنبين فيما بعد ، وكما سبق ذكره - فى قسم (٤ / ٣ / ٢) - فإن إزالة الخرسانة المعيبة يجب أن تشمل إزالة كل الخرسانة المعيبة وحتى الوصول إلى القلب السليم ، كما يجب أن يتم الحصول على حواف قائمة الزوايا ، ويجب إزالة

الأثرية وأى مواد عالقة بسطح التماسك قبل وضع الخرسانة / المونة الجديدة .

لأى مسافه يتم إزالة الخرسانة السطحية ؟

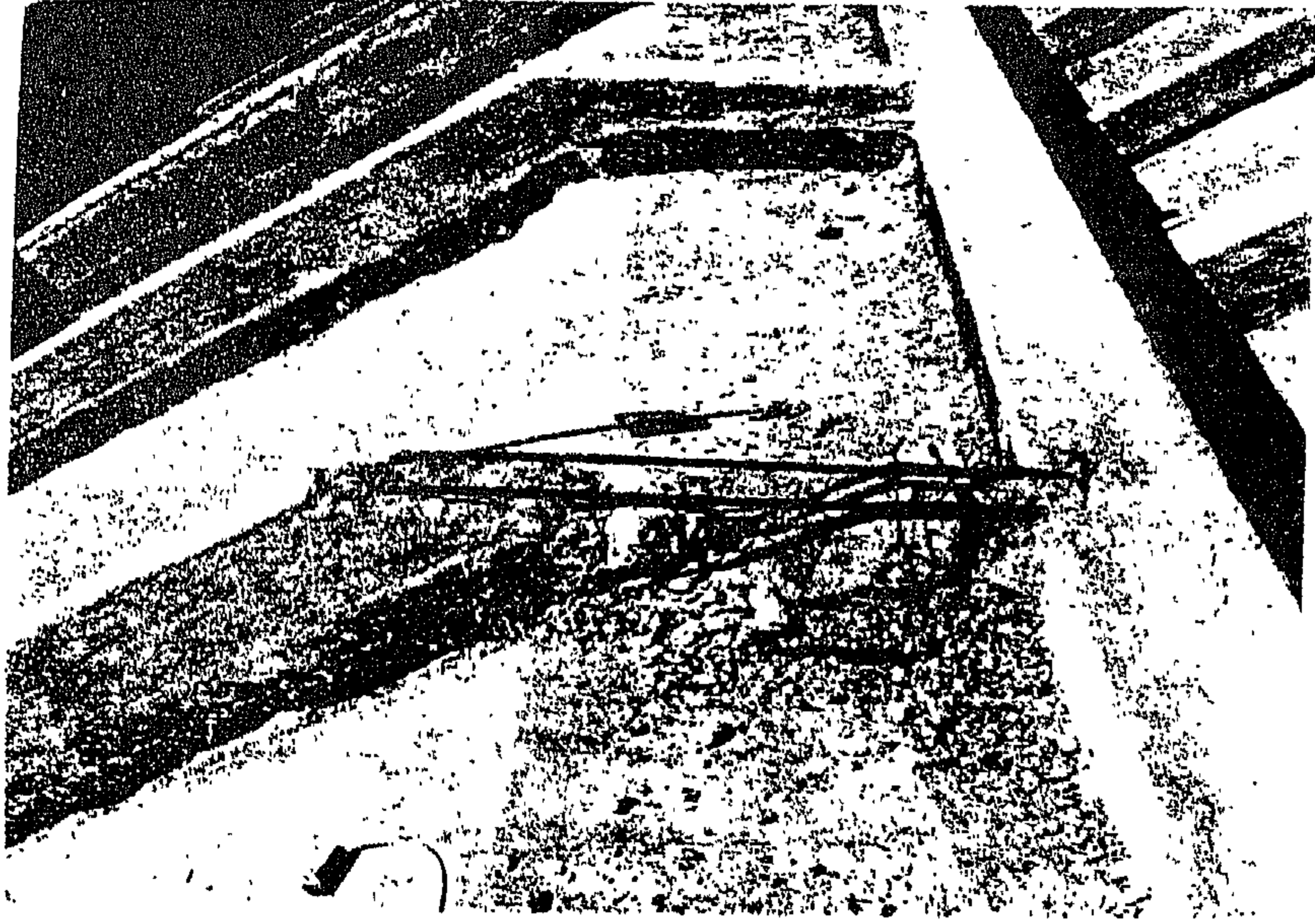
عادة ما يكون تدهور الخرسانة بسبب الصدأ - تشريحها وتساقطها - محليا ، فتند تظهر هذه العيوب فى الأماكن التى يكون فيها الغطاء الخرسانى صغيرا أو فى الأجزاء التى حدثت بها شروخ - ليست بسبب الصدأ - مما أدى إلى دخول ثانى أكسيد الكربون أو الأملاح المسببة للصدأ ، فإذا كان سبب الصدأ محليا ومحصورا فى مسافة محدودة فإن هذه المساحة فقط هى التى يجب إزالتها زائد ٥٠ سم من الناحيتين إذا كان من الضرورى إضافة صلب جديد ، أما إذا كان الصدأ قد ظهر أولا فى مساحة صغيرة لأنها أول جزء فى العضو الخرسانى يصدأ ليس إلا ، وكل العضو محتمل أن ينتشر فيه الصدأ ، فإن إزالة جزء صغير من الخرسانة وإصلاحه لن يؤدى إلا إلى نقل التدهور إلى مكان آخر ، ومن الأمثلة المعروفة على ذلك أسطح الكبارى غير المعزولة والمعرضة للأملاح إذابة الجليد حيث تصبح المناطق الملوثة بالأملاح وفى نفس الوقت بها رطوبة لدرجة تجعل مقاومتها الكهربية أضعف من المناطق المجاورة ، تصبح هذه المناطق قطبا موجبا ويصدأ الحديد الذى فقد طبقتة الحامية السلبية عندها - انظر قسم (٢ / ٢ / ٦) من الباب الرابع .

وفى الحالات التى لا يكون فيها التدهور محليا فإنه يلزم إزالة الخرسانة فى المناطق المحتمل صدأها مستقبلا والتى لم تصدأ بعد لحمايتها ، ولكن يجب تحديد مسافة وحجم الإصلاح فى هذه الحالة عن طريق أجهزة تحديد درجة نشاط الصدأ الكهربية وعن طريق تحديد نسبة الكلوريدات ومدى التحول الكربونى للخرسانة - انظر قسم ١ / ٢ / ٤ من الباب الثالث - ودراسة كافة العوامل المؤثرة على الصدأ بالمنشأ .

لأى عمق يتم إزالة الخرسانة ؟

تحديد عمق إزالة الخرسانة ، وهل تتم الإزالة حتى الوصول إلى الأسياخ فقط أم تستمر إلى خلف الأسياخ ، يتوقف على إمكانية تحقيق ما يلى :

- ١ - أن تزال الخرسانة بعمق يصل إلى كل الأسياخ التى وصل إليها الصدأ .
- ٢ - أن تزال الخرسانة بعمق يسمح بتنظيف الأسياخ وإزالة كل آثار الصدأ .
- ٣ - أن تزال الخرسانة المفككة ولو أدى الأمر إلى إزالة أجزاء كاملة من العضو - انظر شكل (٢٦ / ٨) .



شكل (٢٦ / ٨) إزالة كل الخرسانة المفككة ولو أدى ذلك إلى إزالة أجزاء كاملة من الكمرة

٤ - أن تزال كل الخرسانة المعيبة التي حدث لها تحول كربوني والتي تحوط أسياخ الصلب .

٥ - أن تزال كل الخرسانة المعيبة المحتوية على كلوريدات والتي تلامس أسياخ الصلب .

فإذا كان سبب الصدأ هو التحول الكربوني (Carbonation) للخرسانة السطحية ، فبعض المراجع تتطلب إزالة كل الخرسانة التي حدث لها هذا التحول ، ولكن هذا ليس ضرورياً في المناطق التي ليس بها أسياخ تسليح ، فالمهم أن تكون الأسياخ محاطة بخرسانة لم تتحول كربونيا - بسمك يساوى سمك الغطاء الخرساني من كل ناحية - فتوفر لها الحماية المطلوبة ، وفي كثير من الأحيان نجد أن الخرسانة في قلب العضو - خلف الأسياخ - لم تتحول كربونيا - انظر قسم (٢ / ٢ / ٦) من الباب الرابع - وفي هذه الحالة يجب فقط إزالة الخرسانة التي تمكنا من تنظيف الأسياخ ؛ لأن القاعدة التي تتبع هي تقليل حجم الخرسانة المطلوب إزالته ، وأنه ليس من المنطقي إزالة خرسانة جيدة بدون ضرورة ملحة لوضع مونة بدلا منها ؛ لأن هذه المونة قد تكون أقل قوة وأكثر نفاذية من الخرسانة المزالة .

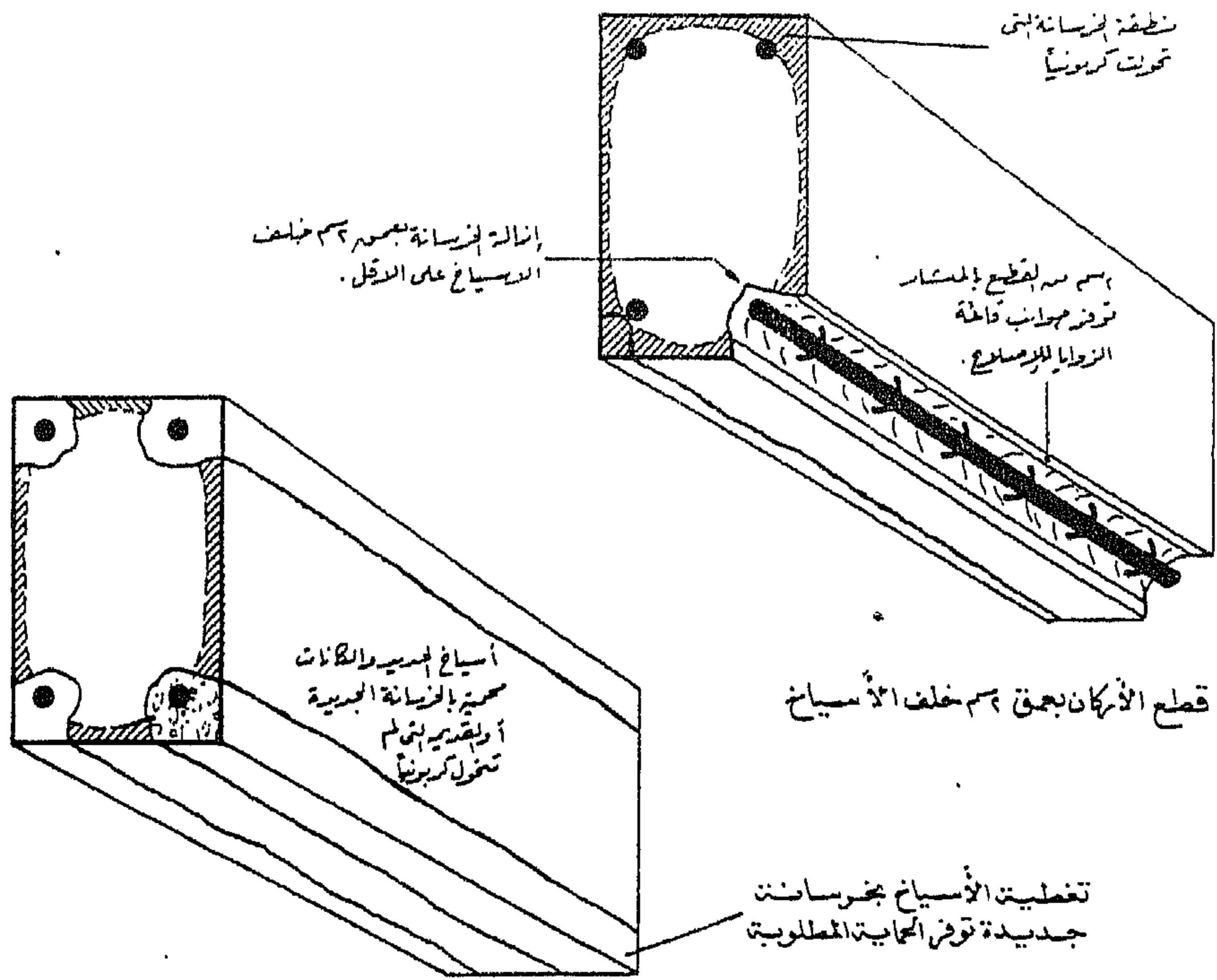
فإذا كان صدأ الأسياخ من الخارج فقط فتزال الخرسانة حتى منتصف عمق الأسياخ

حتى يمكن تنظيفها ، أما إذا شمل الصدأ محيط السيخ كله - يحدث ذلك عادة فى أسياخ الأركان - فيجب إزالة الخرسانة بعمق كاف لتنظيف الأسياخ ، واستبدال الخرسانة التى تحولت كربونيا بخرسانة جديدة ، كما هو موضح فى شكل (٢٧ / ٨) .

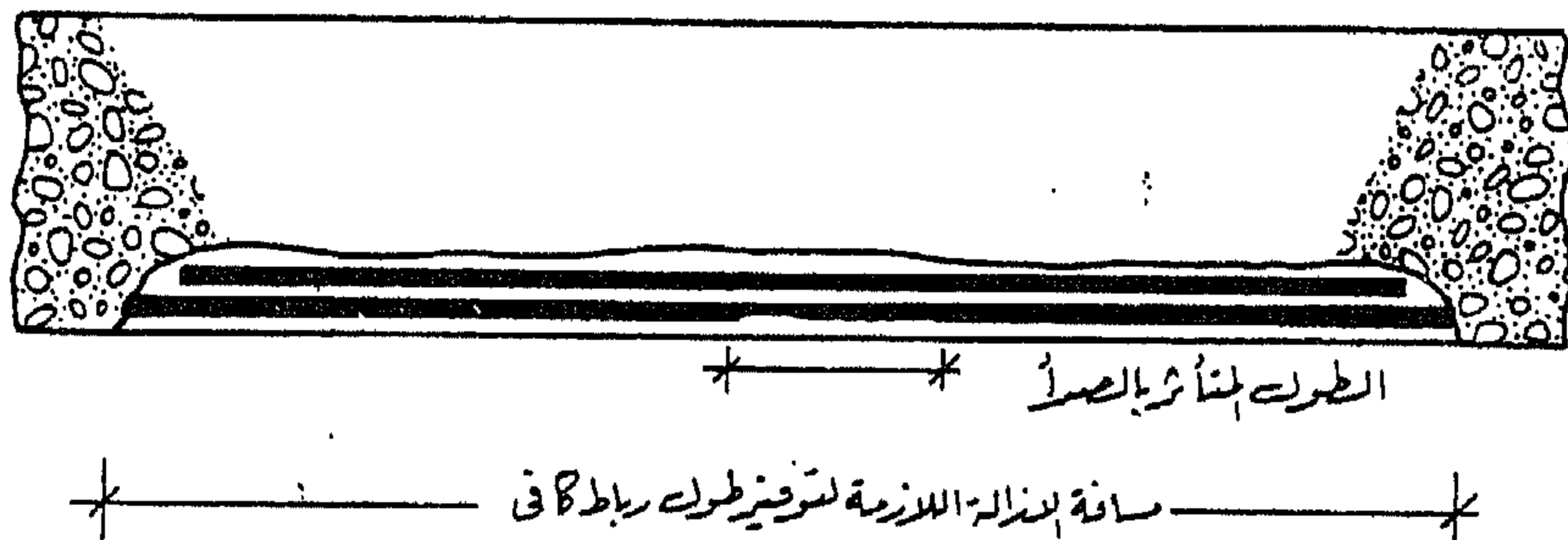
أما إذا كان سبب الصدأ هو زيادة محتوى الكلوريدات عن الحدود المعطاة فى الباب السابع ، فيجب إزالة كل الخرسانة المعيبة ؛ لأنه طالما كان هناك تلامس بين الخرسانة المعيبة والأسياخ فسيستمر الصدأ ، وإذا كان تدهور الحديد قد وصل إلى درجة تؤثر فى قطاعه تأثيرا كبيرا فيجب استبداله أو زيادة عدد الأسياخ فى المنطقة المتدهورة ، وفى هذه الحالة يتم إزالة الخرسانة بعمق ٥ سم خلف أسياخ التسليح وبكامل طول الجزء الذى تعرض للصدأ من السيخ وزيادة ٥ سم من كل ناحية لتوفير طول رباط للحديد الجديد - شكل (٢٨ / ٨) . وإذا لم يمكن إزالة الخرسانة خلف الأسياخ - فى حالة وجود أكثر من صف من أسياخ التسليح مثلا - فإن جزء من السيخ سيظل ملاصقا للخرسانة المحتوية على كلوريدات ، وسيستمر الصدأ فى هذه الحالة إلا إذا تم عزل الأسياخ عن الرطوبة تماما .

وينبغى ملاحظة أنه إذا كانت الكلوريدات موجودة بالخلطة الخرسانية أصلا ، فإن إزالة الخرسانة لأى عمق كان لن يؤدي إلى أمان كامل من الصدأ مستقبلا ، وذلك لأنه بعكس التحول الكربونى فالكلوريدات معدية ، أى أن الكلوريدات تنتشر من الخرسانة القديمة إلى الخرسانة الجديدة التى تحوط الأسياخ ، وسرعة انتشارها يعتمد على عدة عوامل ، ولكن إذا كانت نوعية الخرسانة الجديدة جيدة - محتوى أسمنت مرتفع ، نسبة م / س منخفضة ، دمك كاف - فإنها تستطيع أن توفر الحماية لصلب التسليح لفترة طويلة جدا إذا كان سمكها حول الأسياخ من كل ناحية يساوى الغطاء الخرسانى المطلوب .

والكلوريدات التى تتخلل الخرسانة من مصدر خارجى أقل خطرا من الكلوريدات الموجودة أصلا فى الخلطة - انظر قسم (٢ / ٢ / ٦) من الباب الرابع - وذلك لأن تركيزها يقل كلما زادت المسافة من السطح ، وإذا قل التركيز عن واحد فى الألف من وزن الأسمنت - للخرسانة التى لم تتحول كربونيا - يصبح غير ذى تأثير ، وفى هذه الحالة يكفى إزالة الغطاء الخرسانى حتى الوصول إلى منتصف الأسياخ لتنظيفها ، وبذلك فإن كل الخرسانة المعيبة تكون قد أزيلت ، وإذا لم يتم استبدال خرسانة الغطاء بأخرى غير



شكل (٨ / ٢٧) كيفية إزالة خرسانة الأركان وإصلاح الكمرة



شكل (٨ / ٢٨) مسافة إزالة الخرسانة لإضافة أسياخ حديد

منفذة للماء فإن سبب التدهور يكون قد تم التخلص منه تماما .

ويجب الاعتراف بأن التوصية الخاصة بإزالة الخرسانة بعمق كاف خلف الأسياخ التي صدأ محيطها كله لتنظيفها صعبة ولكنها غير مستحيلة - كما يظهر في أشكال (٢٩ / ٨) إلى (٣١ / ٨) بملحق الألوان - إلا في حالة وجود عدة صفوف من الأسياخ مثلاً ، ولذلك يوصى بالآتى :

* في حالة وجود صف واحد من الأسياخ يكون القطع خلفها بالدرجة الكافية . لتنظيف سطحها الخلفى فقط - ٢ سم قد تكون كافية .

* في حالة وجود أكثر من صف من الحديد تكون إزالة الخرسانة بحيث يتم الكشف على الحديد الذى صدأ وتنظيفه بقدر ما تسمح الظروف - وذلك باستخدام مدفع المياه لإزالة الخرسانة ثم إضافة جزئيات صلبة للمياه لتنظيف الحديد .

ويلاحظ أنه يجب صلب - سند - العضو المعيب في هذه الحالة ؛ لأن إجهادات التماسك لا تنتقل بين الحديد والخرسانة فى الجزء الذى يجرى إصلاحه ، ويستحسن سند الأعضاء التى يحملها هذا العضو أيضاً - انظر شكل (٩ / ٨) .

وقد تؤدي إزالة أجزاء كبيرة من الغطاء الخرساني إلى انهيار العضو ، ولذا فإن الإصلاحات الكبيرة يجب ألا تتم إلا تحت إشراف مهندس متخصص ، وينبغي دائماً أن نتذكر أنه :

* قبل إزالة الخرسانة من أى عضو إنشائي يجب أن ندرس بعناية هل الخرسانة المطلوب إزالتها تعمل على دعم هذا العضو ؟ فإذا كانت كذلك فلا بد من سند العضو أولاً .

والمعدات التى تستخدم فى إزالة الخرسانة المعيبة مشروحة بالتفصيل فى قسم (٤ / ٣) من هذا الباب .

كما يلاحظ أنه عند قطع الخرسانة فلا بد من أن تكون حواف القطع قائمة الزوايا ؛ لأنها لو كانت منفرجة فستسقط مونة الإصلاح منها ، وإذا كانت حادة الزوايا - ذيل يمامة - (Feathered edge) فستكسر ، وأحسن طريقة لتحقيق ذلك هو عمل قطع عمودى على السطح بمشار الخرسانة بعمق ١,٥ سم على الأقل حول كل المنطقة المطلوب إزالتها ،

ويستحسن تخشين سطح قطع المنشار فيما بعد - زمبرته - ليتماسك مع مونة الإصلاح ،
وفى هذه الحالة يصبح الإصلاح أكثر دقة ونظافة ، ويعطى أكفاً النتائج (١٥) .

إزالة الخرسانة عند الوصلات :

تعتبر الوصلات فى المنشآت من أكثر المناطق عرضة للتدهور وأكثرها تسبباً فيه فى آن
واحد وذلك لأسباب عديدة :

١ - يمكن أن تكون صعبة الإنشاء ، ويمكن أن تكون الخرسانة عند الوصلات غير مدموكة جيداً .

٢ - يمكن أن تكون منفذا للمياه المالحة وثنائى أكسيد الكربون .

٣ - يمكن ألا تعمل كوصلة - أى لا تسمح بالحركة - مما يؤدى إلى تشريح الخرسانة فى
أقرب مستوى من مستويات الضعف - على سبيل المثال عند نهاية حديد
الرباط (Dowel bars) أو عند نهاية جناح المانع المائى (Water stop) .

٤ - قد لا تكون وصلة من وصلات الحركة - كوصلات الصب مثلاً - ومع ذلك فقد
تحدث فيها حركة وهى غير مزودة بمادة مطاطة تغطى شقوق الحركة .

ووصلات الصب التى تفتح وتعمل كوصلات تمدد غير مقصودة ، يمكن توسيع
الشروخ التى حدثت بها وإصلاحها إذا تم رصد هذه الشروخ وتم الإصلاح قبل حدوث
أى تلوث عند الشروخ ، أما إذا حدث التلوث وصدأ الصلب فلا بد من إصلاح الوضع
بإزالة الخرسانة وإعادة إنشاء الوصلة ، ويجب الاحتياط فى هذه الحالة من عدم إتلاف
الصلب عند إزالة الخرسانة إذا كان لم يصدأ بدرجة خطيرة .

وإزالة الغطاء الخرسانى عند الوصلات يعنى إزالة الخرسانة من السطحين الخارجى
والداخلى للوصلة ، وعادة ما يحدث أن تزال الخرسانة كلها فى المنطقة المحيطة بالوصلة ،
ويعتبر استعمال مدفع المياه من أحسن طرق إزالة الخرسانة بدون إتلاف صلب التسليح -
انظر قسم (٢ / ٣ / ٤) .

وفى حالة الوصلات التى تنقل قوى القص يتم استعمال أسياخ الرباط (Dowel bars)
لنقل قوى القص ، وصلب التسليح هذا يكون عمودياً على مستوى الوصلة وحر الحركة

فى ناحية واحدة من الوصلة على الأقل ، وفى هذا النوع من الوصلات يجب العناية بجعل جانبى الوصلة فى مستوى واحد ، وجعل حديد الرباط أمام الفتحات المخصصة لحركته وإلا ستحدث إجهادات فى الخرسانة المحيطة بالوصلة قد تسبب تشققها ، ولأخذ فى الاعتبار أن الوصلات غير المستوية وليست على خط واحد (Misaligned) هى سبب كثير من الانهيارات فى المنشآت الخرسانية ، ولذا فإن إصلاح هذا النوع من الوصلات ليس أمراً سهلاً .

فعند إصلاح وصلات بها قوى قص يكون من الضرورى عادة إزالة مكونات الوصلة جميعها ، ثم إعادة تجميعها بعد الإصلاح ، ويعنى هذا إزالة كل الخرسانة لبعده ٥٠ سم من كل جانب من جانبى الوصلة مع عدم إتلاف صلب التسليح حتى يحدث تماسك بين الخرسانة الجديدة والقديمة :

وقد باءت بالفشل محاولات إصلاح مثل هذا النوع من الوصلات عن طريق تكسير الخرسانة من جانب واحد من الوصلة واستبدال حديد الرباط ؛ لأنه من غير الممكن تحقيق الدقة المطلوبة فى جعلها فى مستوى واحد وعلى خط واحد .

٤ / ٦ / ٣ - تنظيف أسياخ الصلب :

بعد إزالة الغطاء الخرساني يمكن الكشف على صلب التسليح لإزالة ما تبقى من آثار الصدأ عليه ، وإذا تمت إزالة الخرسانة بمدفع المياه فأغلب الصدأ سيكون قد أزيل ولكن بعض الصدأ على الجانب الآخر من السبيخ سيبقى ، وتظهر مشكلة فى التفرقة بين الصدأ الموجود بالسبيخ قبل الصب وذلك المتكون بعد ذلك ، فكثير من الأسياخ المستعملة فى الخرسانة يكون بها بعض الصدأ ، وهذا الصدأ إذا كان بسيطاً وغير محتو على أملاح فلا ضرر منه ، ويمكن تمييزه عن الصدأ الحادث بعد ذلك عن طريق طبقة الصدأ الخفيفة عليه بدون آثار على الخرسانة المحيطة ، أما الصدأ المتكون بعد استعمال المبنى فيكون أقل صلابة ولونه بنيائميل إلى الاحمرار وآثار بقع الصدأ ظاهرة على الخرسانة المحيطة .

والمستوى المطلوب فى نظافة الأسياخ يعتمد على سبب الصدأ ، ففي حالة الصدأ الذى سببه زيادة محتوى الكلوريدات فلا بد من إزالة كل آثار الصدأ تماماً من على الأسياخ ، ومستوى إعداد سطح الحديد للدهان - فى مواصفات دهان الأسطح الحديدية - يكون هو المستوى المطلوب خاصة عند استعمال الراتنجات كمواد إصلاح ، وللوصول إلى

نظافة تامة لسطح الأسياخ - وخاصة عند السطح الخلفى - لابد من إزالة الخرسانة بعمق ٢ - ٥ سم خلف الأسياخ واستعمال مدفع المياه مع إضافة مادة حاككة (Abrasive) للمياه المستخدمة ، ويعتبر التزاوج بين المياه والمادة الحاككة ممتازا حيث تقوم المادة الحاككة بإزالة الأجزاء الصلبة من الصدأ - حتى على السطح الخلفى ، وذلك بالارتداد من سطح الخرسانة - وتقوم المياه المندفعة بإذابة الكلوريدات الموجودة فى فجوات الأسياخ الصدأ - هذه الفجوات لحسن الحظ تكون غالبا ناحية الخارج .

أما فى حالة غيبة الكلوريدات وسهولة الوصول إلى العضو الخرسانى فيمكن استخدام الأدوات اليدوية والكهربائية فى تنظيف الحديد - انظر شكل (٨ / ٧) - أما استعمال الصنفرة والفرشة السلك فلا يكفى لإزالة الصدأ وتنظيف الأسياخ .

وإذا ظهر بعد تنظيف الحديد أن مقطع الأسياخ قد نقص نقصا مؤثرا ، فلا بد من وضع صلب إضافى أو قطع الصلب واستبداله ، وفى هذه الحالة يجب إزالة الخرسانة لمسافة أبعد لإيجاد مسافة رباط كافية - انظر شكل (٨ / ٢٨) - وفى هذه الحالة يجب صلب - سند - العضو الخرسانى طوال فترة الإصلاح وحتى تصل مقاومة خرسانة الإصلاح إلى الإجهاد المطلوب .

٤ / ٦ / ٤ - اختيار طريقة الإصلاح :

بالرجوع إلى أسباب حدوث الصدأ - قسم (٤ / ٦ / ١) - وإلى العوامل التى تؤثر فى اختيار طريقة الإصلاح - قسم (٤ / ١ / ٤) - نجد أن عددا كبيرا من العوامل يجب أن تؤخذ فى الاعتبار عند اختيار أنسب طريقة للإصلاح فى ظروف معينة ، ومن ضمن هذه العوامل :

١ - طريقة تصرف المنشأ بعد الإصلاح Structural behaviour .

٢ - صعوبة الوصول إلى العضو بحيث تصبح بعض طرق الإصلاح غير ممكنة .

٣ - الظروف المحيطة : استخدامات المكان ، ارتفاع مكان الإصلاح ... إلخ .

٤ - اعتبارات الأمان والمقاومة للحريق .

٥ - اعتبارات معمارية : المظهر ، حجم الإصلاح .. إلخ .

أما إذا كان الترتيب على أساس خواص المواد المستخدمة وعلى أساس اقتصادى

فقط ، فإن جدول (٨ / ٣)^(١٤) يوضح متى تستعمل المواد المختلفة ، وهذا الجدول - بالإضافة إلى الملاحظات الآتية - يمكن أن يسهل عملية الاختيار بين مواد الإصلاح وطرق الإصلاح المتعددة :

١ - صب الخرسانة أو رشها هي أنسب طرق إصلاح المساحات الكبيرة والإصلاحات الإنشائية .

٢ - المونة الراتنجية لا تستخدم إلا في الإصلاحات الصغيرة لارتفاع ثمنها .

٣ - البياض بالمونة الأسمنتية أو المونة المعدلة بإضافات من البوليمرات هي أكثر الطرق استخداماً وأسهلها ، لكنها لا تصلح للإصلاحات الإنشائية .

٤ - عندما يكون الغطاء الخرساني المتاح - لأسباب معمارية - لا يتعدى ١٠ - ١٢ سم ، فلا بد من استخدام المونة الراتنجية لأنها توفر عدم النفاذية المطلوبة حتى في الطبقات الرفيعة .

٥ - إذا كان الغطاء الخرساني معقولاً - أكبر من ١,٥ سم - ولكنه لا يتفق مع متطلبات الكودات الحديثة - ٢,٥ سم فأكثر - فيمكن استعمال المونة الأسمنتية المعدلة بإضافات من البوليمرات .

٦ - عندما تكون نسبة الكلوريدات الموجودة بالخلطة خطيرة ، فإن المونة الراتنجية يمكن أن تحدد من تغلغل الكلوريدات المتبقية بالخرسانة القديمة إلى خرسانة مونة الإصلاح .

ويجب ملاحظة أن جدول (٨ / ٣) والملاحظات المصاحبة له ما هو إلا تبسيط لعملية اختيار طريقة الإصلاح المعقدة ، فمثلاً يمكن أن يشمل الإصلاح المطلوب إصلاحات كبيرة وإصلاحات صغيرة في نفس المنشأ وأحياناً في نفس العضو ، وقد يكون استعمال أكثر من طريقة للإصلاح في العضو الواحد هو أنسب الحلول ، وبالإضافة إلى ذلك ففي بعض الحالات يمكن مد صلاحية طريقة ما إلى أبعد من الحدود الطبيعية لها ، فمثلاً يمكن مد صلاحية استخدام الراتنجات إلى الإصلاحات الكبيرة وذلك بدهان الخرسانة المستعملة في الإصلاح بالراتنجات أو دهان الحد . بمواد تمنع الصدأ .

٤ / ٦ / ٥ - إصلاح الشروخ :

يجب إصلاح الشروخ ، سواء تلك التي سببت في حدوث الصدأ أو التي سببها

المادة المستخدمة	تساقط الخرسانة لمساحات كبيرة			تساقط الخرسانة لمساحات صغيرة			سد الشروخ	الإصلاح الإنشائي	المواد اللاحمة
	الغطاء الخرساني المتاح			الغطاء الخرساني المتاح					
	أكبر من ٢,٥ سم	١,٢ - ٢,٥ سم	٠,٦ - ١,٢ سم	أكبر من ١,٢ سم	١,٢ - ٢,٥ سم	٠,٦ - ١,٢ سم			
صب الخرسانة	X							X	
رش الخرسانة	X								
مونة الأسمنت والرمل				X					
المونة الأسستية مع إضافة البوليمرات		X			X				
مونة الإيوكس الراتنجية			X			X			
مونة البوليستر الراتنجية			X						
مونة الإيوكس التي تتحمل الرطوبة									X
مستحلبات الأكريليك والكوبوليمر							X		X
مونة الاكريليك والبوليستر منخفضة اللزوجة							X		
مونة الإيوكس منخفضة اللزوجة								X	

جدول (٨ / ٣) اختيار مادة إصلاح الأعضاء الخرسانية

الصدأ - راجع الباب الرابع .

١ - شروخ الانكماش اللدن :

فى حالة تعرض سطح الخرسانة للأملاح فإن هذه الشروخ ستصبح أوعية للتلوث بالقرب من صلب التسليح ، إلا إذا تم سدها قبل دخول الأملاح إليها ، وهذا ممكن فقط إذا سدت هذه الشروخ أثناء التنفيذ أو بعده مباشرة بإحدى طرق سد الشروخ المذكورة فى قسم (٤ / ٥) .

٢ - شروخ الهبوط اللدن :

ووجود هذه الشروخ السطحية فى الخرسانة حديثة الصب يتم التعامل معه بنفس طريقة التعامل مع شروخ الانكماش اللدن ، ولكن الخطورة تكمن فى الفجوات المائية التى تتجمع تحت أسياخ التسليح عند حدوث الهبوط اللدن - انظر شكل (٤ / ٤ / ب) بالباب الرابع - ليس فقط لأن حماية أسياخ الحديد تعتمد على تغطيته بالخرسانة وإنما أيضا لأن هذه الفجوات تقلل من التماسك بين الأسياخ والخرسانة ، والعثور على هذه الفجوات وإصلاحها فى الأعضاء الإنشائية المكتملة صعب جدا ، لذا فإنه من الأهمية بمكان تفادى مثل هذه الفجوات أثناء الإنشاء بالتأكد من أن خواص الخرسانة الطازجة مناسب للظروف التى ستستخدم فيها .

وتجمع مياه الإدماء تحت أسياخ التسليح يعنى أن السطح السفلى للسليخ - ولمسافات طويلة - أصبح غير محمى من الصدأ ، وحينما تكتشف مثل هذه الفجوات يكون الصدأ قد حدث فعلا وأثر على أطوال كبيرة من الأسياخ .

٣ - الشروخ الإنشائية :

مثل شروخ القص والانحناء أو نقص أطوال التماسك أو قصور التفاصيل وغيره - انظر قسم (٤ / ٢) ، (٥ / ٢) من الباب الرابع - إذا كانت هذه الشروخ لم تسمح بعد للتلوث بالدخول إلى قلب الخرسانة أو للتحويل الكربونى بالحدوث فى سطحها ، فيمكن سدها بالحقن أو بأى وسيلة مناسبة من الوسائل الموضحة فى قسم (٤ / ٥) إذا كانت لا تتسع مستقبلا ، أما الشروخ الحية فيتم تغطيتها بمواد ملء الفواصل - كما هو موضح فى قسم (٤ / ٥ / ٣ / ١٠) - ومن وجهة نظر الصدأ فإن ضرورة إصلاح هذه الشروخ أو عدم وجود ضرورة لذلك يعتمد على اتساعها والظروف المحيطة بالعضو ،

وهل الشرخ مواز لحديد التسليح أم عمودى عليه ؟ وفى حالة الشرخ غير الموازية لحديد تسليح مجاور فإن جدول (٨ / ٤) يوضح الموقف من إصلاحها فى ضوء صدأ الحديد .

أما فى حالة وجود حديد تسليح جديد فى الاتجاهين - البلاطات والحوائط - فأى شرخ عرضية ستكون موازية لاتجاه واحد منهما ، ويجب سدها حتى ولو كانت رفيعة جدا - أقل من ٠,٣ مم - لأن الشرخ الموازية للأسياخ تسرع من معدلات الصدأ .

٤ - الشرخ الطولية التى سببها الصدأ :

الشرخ الطولية فوق صلب التسليح وفى الأماكن التى لا يتوقع أن يكون سببها انكماش أو إجهادات حرارية أو هبوط لدن ، غالبا ما يكون سببها القوى الانفصالية المصاحبة لتكون الصدأ التى ستؤدى فى النهاية إلى سقوط الغطاء الخرسانى ، وهذه الشرخ لا يمكن إصلاحها إلا بإزالة الغطاء الخرسانى وإصلاح الصدأ نفسه .

٤ / ٦ / ٦ - استبدال الخرسانة المعيبة :

مساحات الخرسانة التى تساقطت أو تم قطعها تستبدل بخرسانة جديدة عن طريق إحدى الطرق الآتية :

- ١ - صب الخرسانة .
 - ٢ - رش الخرسانة .
 - ٣ - الملء يدويا بالمونة الأسمتية .
 - ٤ - الملء يدويا بالمونة الراتنجية .
 - ٥ - الملء بالركام ثم صب الخرسانة عليه (Prepacked aggregate concrete) .
- ولكل من هذ الطرق مميزاته حسب الحالة - كما سيأتى ذكره فيما بعد .

٤ / ٦ / ٦ / ١ - خواص المواد المستخدمة :

إن استبدال جزء من عضو إنشائى بمادة جديدة سيؤثر بلا شك فى تصرفه وأدائه لوظيفته إذا كانت خواص مادة الإصلاح مختلفة عن خواص الخرسانة القديمة ، ومن المهم أن يدرك المهندس الإنشائى ما هو تأثير ذلك ، وأهم الخواص المؤثرة بهذا الصدد هى معايير المرونة ومعامل التمدد الحرارى والنفاذية والمقاومة ، ويبين جدول (٨ / ٥) بعضا من هذه

عرض الشرخ	الظروف المحيطة بالعضو	العلاج إذا لم تكن الشروخ قد تلوّثت
حتى ٥ رم	عضو داخلي أو خارجي غير معرض للأملاح	غير مطلوب
	بلاطات الطرق المعرضة للإملاح - مصانع الكيماويات - أساسات معرضة لكلوريدات	إذا كانت لا تتسع - تسد بالحقن إذا كانت تتسع - يتم توسيعها وسدها بمواد سد الفواصل
أكثر من ٥ مم	أعضاء داخلية في ظروف جافة	غير مطلوب
	كل الحالات الأخرى	إذا كانت لا تتسع - تسد بالحقن إذا كانت تتسع (وهو الأكثر احتمالاً لشروخ بهذا الاتساع) - توسع ثم تسد بمواد سد الفواصل

جدول (٨ / ٤) - الحاجة للعلاج من وجهة نظر الصدأ

المادة	مقاومة الضغط كجم / سم ^٢	معايير المرونة طن / سم ^٢	معامل التمدد الحرارى $\times 10^{-6}$ / درجة مئوية
الخرسانة ذات الركام الجبرى	٧٠٠ - ١٥٠	٤٠٠ - ٢٠٠	٩ - ٧
الخرسانة ذات الركام السيليسى	٧٠٠ - ١٥٠	٤٠٠ - ٢٠٠	١٤ - ١٢
مونة الأسمنت والرمل (٣ : ١)	٢٠٠ - ١٠٠	—	١٠
مونة الإيبوكسى الراتنجية (الرمل هو المادة المائلة)	١٠٠٠ - ٥٠٠	٢٠٠ - ٥	٥٠ - ٢٠
مونة الأكريليك الراتنجية (الرمل هو المادة المائلة)	—	٢٥٠ - ١٠٠	١٥ - ٥
المونة الأسمنتية المحسنة بالبولىميرات	٦٠٠ - ١٠٠	٣٠ - ١٠	١٥ - ٨

جدول (٨ / ٥) - خواص المونة المستخدمة فى الإصلاح

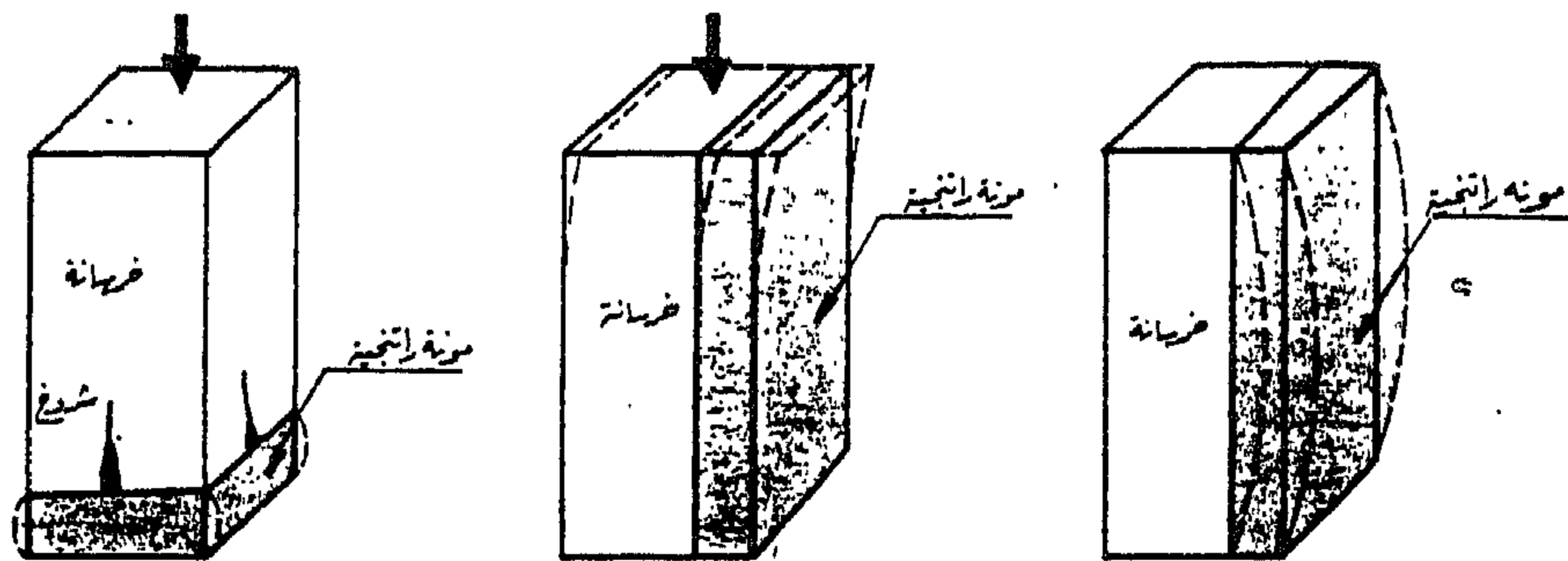
الخواص لمواد الإصلاح المختلفة .

وتختلف خواص الخرسانة مثلا باختلاف مكونات الخلطة ، ولكن بالنسبة للخلطات التي يستعمل فيها ٣٥٠ - ٤٠٠ كجم أسمنت فالاختلاف ليس كبيرا ، ولكن المواد الراتنجية مثلا تختلف خواصها اختلافا كبيرا عن خواص أى نوع من أنواع الخرسانة ، وبوجه عام فإن معايير المرونة للمواد الراتنجية من خمس إلى عشر أضعاف معايير المرونة للخرسانة ، أما معامل التمدد الحرارى للمواد الراتنجية فيبلغ خمسة أضعاف معامل الخرسانة ، ومقاومة الضغط للمونة الراتنجية عادة أكبر من مقاومة الضغط للخرسانة - الضعف تقريبا - أما مقاومة الشد فهي أكبر كثيرا .

وتأثير اختلاف خواص المونة الراتنجية عن خواص الخرسانة يظهر فى شكل (٨ / ٣٢) ، حيث يختلف هذا التأثير باختلاف مكان وحجم استخدام المونة ، فالمونة الراتنجية المستخدمة فى إصلاح الأعضاء الخارجية المعرضة للحرارة سيكون تمددها أكبر من تمدد الخرسانة المجاورة نظرا لكبر معامل تمددها الحرارى مما قد يسبب شروخا انفصالية بين السطحين - شكل (٨ / ٣٢ / أ) - وعند استخدام المونة الراتنجية فى إضافة طبقات رأسية للأعضاء المعرضة لقوى الضغط فإن هذه الطبقات لن تساهم فى تحمل الأحمال الواقعة على العضو حتى يحدث لها تشكل أكبر من الخرسانة - نظرا لصغر معايير مرونتها - مما قد يؤدي إلى حدوث لامركزية فى الحمل - شكل (٨ / ٣٢ / ب) - أما إذا استخدمت المونة الراتنجية فى إضافة طبقات أفقية لعضو محمل بأحمال ضغط ، فإن المادة الراتنجية ذات معايير المرونة الأقل سيكون تشكلها أكبر كثيرا من الخرسانة مما قد يؤدي إلى حدوث شروخ شد عند سطح اتصالها - شكل (٨ / ٣٢ / ج) - وفى حالة استخدام المونة الراتنجية فى إصلاح الوصلات فإن عدم توفير مساحة كافية للتمدد الحرارى للمونة سيؤدي إلى حدوث إجهادات ضغط وتركيزها فى الجزء الباقى من العضو الخرسانى - شكل (٨ / ٣٢ / د) - وقد يؤدي ذلك إلى زيادة الإجهادات فى هذا الجزء عن القيم المسموح بها .

ورغم هذه العيوب فإن الإصلاحات التى تحتاج إلى ملء متوافق بدقة مع شكل الفجوة وفى نفس الوقت مقاومة للأحمال عالية - مثل إصلاح ركائز الكمرات الكبيرة مثلا - فإن المواد الراتنجية وحدها هى التى تؤدي الغرض .

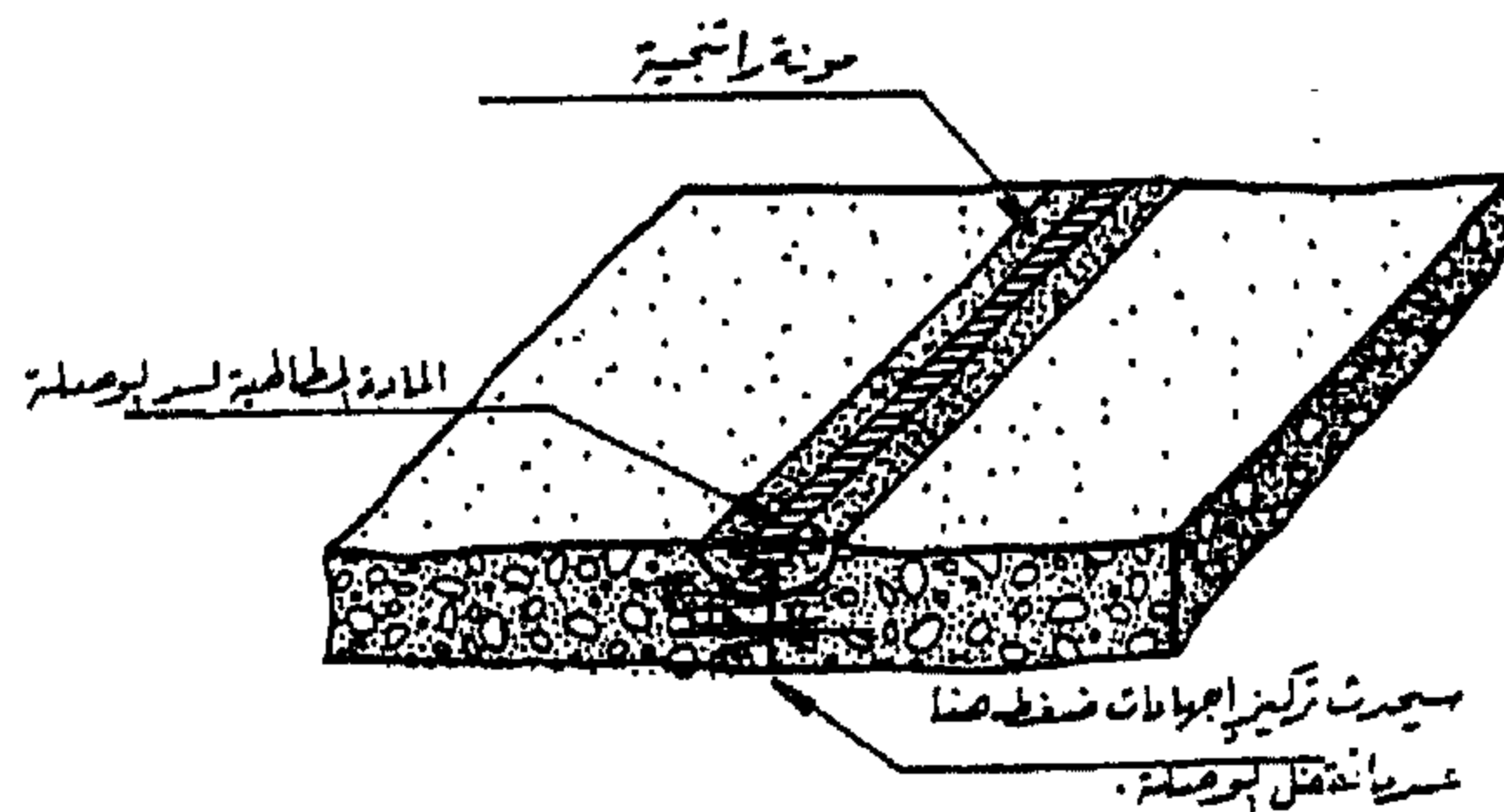
واستعمال الصب بخرسانة جديدة أو الملء بمونة أسمنتية يلقى كثيرا من المشاكل إذا اختلفت خواص مواد الإصلاح عن الخرسانة القديمة ، كما أن هناك مشاكل خاصة



جـ - تشكل المادة بظلية كبيرة تحت تأثير الحمل سيؤدي الى حدوث تشقق بشدة في أسفل البعوض.

د - إختلاف معايير لمونة سيؤدي الى عدم تشارك أجزاء مصنع سم لمونة تحت تحمل الحمل قبل حدوث تشقق كبيرة.

هـ - إختلاف معامل التمدد الحراري سيؤدي الى انفصال المونة الراتنجية عن الخرسانة



د) مستحث إجهادات ضغط كبيرة في الخرسانة إذا لم يتم هناك مساحة كافية لتمدد المونة الراتنجية المستعمدة في إصلاح الوصلات

شكل (٨ / ٣٢) تأثير إختلاف خواص مونة الإصلاح عن الخرسانة الأصلية

بالخرسانة الجديدة وهى انكماشها عندما تجف وحدوث الإدماء إذا كانت نسبة المياه زائدة .

ولذا فيستحسن استعمال مواد الإصلاح الأسمنتية ما أمكن لإصلاح المنشآت الخرسانية ، فإذا كان استخدام الخرسانة غير ممكن بسبب عدم وجود حيز كاف أو صعوبة تركيب شدة خشبية فيمكن استخدام المونة ، وإذا كانت المساحة كبيرة بدرجة كافية يمكن استخدام الرش بالخرسانة ، ويمكن دائما تحسين خواص المونة الأسمنتية والخرسانة بإضافة البولييمرات - راجع الباب السادس - ، ولكن المواد الأسمنتية أيا كان نوعها تفضل المونة الراتنجية فى إصلاح الأعضاء الخرسانية إلا إذا كانت المقاومة المطلوبة عالية جدا .

٤ / ٦ / ٢ - صب الخرسانة :

عندما يكون حجم قطع وإزالة الخرسانة المعيبة كبيرا ولعمق كاف ، وعندما يكون المطلوب استعادة جساءة العضو الذى يجرى إصلاحه ومقاومته للأحمال كما كانت ، فيتم استبدال الخرسانة المعيبة عن طريق صب خرسانة جديدة ذات مواصفات خاصة لتقليل الانكماش فى الفراغ الناشئ عن إزالة الخرسانة المعيبة .

وصب الخرسانة وكل الاشتراطات المتعلقة بالخلطة المستخدمة والشدة وطريقة التنفيذ موضح بالتفصيل فى الإصلاحات الإنشائية - قسم (٥ / ٢ / ١) .

٤ / ٦ / ٣ - رش الخرسانة :

إذا كانت الخرسانة المتساقطة فى مساحات كبيرة أو مساحات صغيرة ولكنها كثيرة أو إذا كان المطلوب - بالإضافة إلى استبدال الخرسانة المعيبة - زيادة الغطاء الخرساني للأسقف والحوائط فيمكن استعمال طريقة رش الخرسانة ، وهى تستعمل فى الإصلاحات الكبيرة والأعضاء المستوية ولكنها تصبح غير اقتصادية فى الأعضاء الرفيعة كالأعمدة مثلا ، ويصعب استخدامها فى الكمرات المطلوب فيها استبدال الخرسانة خلف صف أو أكثر من صلب التسليح ، ولكنها تستخدم إذا كانت إزالة الخرسانة حتى سطح الأسياخ الخلفى فقط .

وتفاصيل الطريقة والمعدات المستخدمة ومجالات الاستخدام مفصلة فى الجزء الخاص بالإصلاحات الإنشائية - قسم (٥ / ٢ / ٢) .

٤ / ٦ / ٦ / ٤ - الملء يدويا باستخدام المونة الأسمنتية :

حين تستخدم المونة الأسمنتية العادية أو المونة الأسمنتية المحسنة بالبوليمرات في ملء الفراغ الناشئ عن إزالة الخرسانة المعيبة يدويا - بالمسطرين بنفس طريقة عمل بياض الأسطح - فإن ذلك سيكون إصلاحا غير إنشائي ، أى قد لا يستعيد العضو سابق قدرته على تحمل الأحمال ولكنه سيستعيد قدرته على التحمل مع الزمن وسيتم إيقاف الصدأ أو تقليل معدله .

أ - مونة الأسمنت والرمل العادية :

كما سبق ذكره ، فعندما يكون الغطاء الخرساني أكبر من ٢,٥ - ٣ سم فيمكن استبدال الخرسانة المعيبة بمونة الأسمنت والرمل العادية بنسبة ١ : ٢,٥ إلى ١ : ٣ ، ويجب استخدام رمل عالى الجودة ، ويستحسن أن يكون خشنا لتقليل محتوى الماء لينخفض الانكماش ، وقد تم إصلاح العديد من الأعضاء الخرسانية التى تعرضت للصدأ فى الثلاثينات بهذه الطريقة ، وما زال الإصلاح سليما بعد مرور أكثر من خمسين سنة .

ب - مونة الأسمنت المحسنة بالبوليمرات :

وقد تعرضنا فى الباب السادس للفوائد المكتسبة من استعمال إضافات البوليمرات على خواص المونة والخرسانة وكذلك أنواع البوليمرات المستخدمة وخواصها ، وتستعمل المونة المحسنة بالبوليمرات فى استبدال الخرسانة المعيبة فى حالة ما إذا كان سمك الغطاء الخرساني أقل من ٢,٥ - ٣ سم ولكن أكثر من ١,٢ سم ، ويتم خلط هذه المونة فى الموقع بخلط الرمل والأسمنت والبوليمر اللثي (latex) والماء بالنسب الآتية :

الماء	مستحلب البوليمر Polymer latex (به حوالى ٥٠ ٪ مواد صلبة)	رمل نظيف - مقاس حيياته أقل من ٥ مم	أسمنت بورتلاندى عادى
أقل كمية لازمة للحصول على القوام المطلوب	٢٠ - ٣٠ جزء أ	٢٥٠ - ٣٠٠ جزء	١٠٠ جزء بالوزن

والقاعدة هى أن يكون وزن المواد البوليمرية الصلبة حوالى ١٠ ٪ من وزن الأسمنت ، فإذا كانت نسبة المواد البوليمرية فى المستحلب ٥٠ ٪ فيكون وزن المستحلب المضاف للمونة حوالى ٢٠ ٪ من وزن الأسمنت .

وطريقة تنفيذ استبدال الخرسانة بمونة الأسمنت والرمل العادية أو المحسنة موضحة بالتفصيل فى قسم (٤ / ٣ / ٥) - إصلاح تساقط الخرسانة - وينبغى ملاحظة أن استعمال رمال رديئة أو عمالة غير مدربة أو خللاطات لا تصلح لخلط المونة سيؤدى إلى إصلاح غير سليم ولا يدوم طويلا ، ولذا فبعض مصانع مواد الإصلاح تنتج عبوات بها الخليط السليم من الأسمنت والرمل وعبوات من مستحلب البوليمر ولا تحتاج إلا إلى خلطها فى الموقع واستعمالها ، كما أنه قد تم إنتاج مادة الكوبوليمر (متعدد البلمرة) كبودرة تخلط بالأسمنت والرمل بالنسبة الصحيحة بالمصنع ولا تحتاج إلا إلى خلطها بالماء بالموقع لاستعمالها .

٤ / ٦ / ٥ - الملء يدويا باستخدام المونة الراتنجية :

إذا كان الغطاء الخرساني صغيرا - أقل من ١٢ مم - أو إذا كانت الأحمال الميكانيكية المعرض لها السطح كبيرة أو فى حالة تعرض السطح لهجوم الكيماويات فيمكن استخدام الراتنجات فى استبدال الخرسانة المعيبة حيث تبرر الحاجة إلى خصائصها المتميزة التكلفة العالية لها ، وتمتاز المونة الراتنجية بالإضافة إلى ذلك بسرعة وصولها إلى مقاومة عالية - ٢٤ إلى ٤٨ ساعة - كما تمتاز بأنها تغطى التسليح بطبقة غير منفذة ، لها خصائص تماسك ممتازة مع الصلب ومع الخرسانة القديمة على حد سواء .

وعيب المونة الراتنجية - ومونة الإيوكسى بالذات - أنها حساسة لنسب خلط وطريقة خلط المادة اللاحمة Resin بالمادة المسببة للتصلد Hardener ، ولا يمكن الوصول إلى النتائج المرجوة إلا بخلط هذين المكونين خلطا جيدا وبالنسب الخاصة بالتركيبية بالضبط قبل إضافة المادة المألقة Filler ، كما أن من عيوبها اختلاف خواصها عن خواص الخرسانة القديمة وخاصة معامل التمدد الحرارى ومعايير المرونة والتشكل تحت الأحمال - انظر شكل (٨ / ٣٢) .

وفى المقابل فإنها تمتاز بكثرة تركيباتها بحيث يمكن الحصول على مونة تتماسك مع الأسطح الرطبة وأخرى مع الأسطح الجافة ، ويمكن الوصول إلى مونة تصلح للمناطق الحارة وأخرى للمناطق الباردة ... وهكذا ، وتفصيل استخدام المونة الراتنجية فى إصلاح تساقط الخرسانة موجودة فى قسم (٤ / ٣ / ٥) .

٤ / ٦ / ٦ - الملء بالركام ثم صب الخرسانة عليه Prepacked aggregate:

فى حالة إصلاح الأعضاء الخرسانية تحت الماء أو فى حالة الرغبة فى التخلص من

الانكماش الذى يحدث للخرسانة المصبوبة لاستبدال الخرسانة المعيبة التى تم إزالتها ، فإنه يمكن استخدام طريقة وضع الركام مسبقا ثم حقن المونة بعد ذلك ، وهذه الطريقة موضحة فى قسم (٣ / ٢ / ٥) .

٤ / ٦ / ٧ - إضافة صلب تسليح :

إذا كان الصدأ قد تسبب فى نقص مساحة صلب التسليح فى القطاع الخرساني بأكثر من ٢٠ ٪ ، فلابد من إضافة أسياخ صلب قبل استبدال الخرسانة المعيبة ، والطريقة المعتادة فى إضافة التسليح هو وصل الأجزاء المتآكلة من الأسياخ بأسياخ إضافية لاستعادة مساحة التسليح كما كانت ، ويجب أن يكون طول الرباط بين الأسياخ الجديدة والأجزاء غير المصابة من الأسياخ الأصلية مثل طول الرباط عند وصل أسياخ الصلب فى الإنشاءات المعتادة ، وهو ما تحدده المواصفات حسب نوع الإجهادات المعرض لها العضو وقطر السبخ وقوة الخرسانة .. إلخ - انظر شكل (٢٨ / ٨) .

وعادة ما يكون من الضرورى إزالة الخرسانة لمسافة أكبر كثيرا من حجم الخرسانة المعيبة لكشف طول كاف من الحديد النسلیم لربط الحديد الإضافى به .

وفى بعض الحالات يفضل ربط الصلب الإضافى بحفر ثقوب فى الخرسانة ولحام الحديد الإضافى بداخلها باستعمال الإيوكسى ، ومن أمثلة ذلك الحديد الإضافى عند الوصلات والكانات الإضافية فى الأعمدة والحديد المطلوب لتثبيت السمك الإضافى للغطاء الخرساني ، واستعمال هذه الطريقة يمنع الاتصال الكهربائى بين الصلب الإضافى والصلب الأصلى مما يمنع وصول الصدأ إليه ، ولذا فإن هذه الطريقة فى الرباط هى الأفضل عند إضافة سمك جديد للغطاء الخرساني ، ويكون الرباط أفضل إذا كان الثقب محفورا بزاوية على اتجاه الإجهادات فى الحديد مما يجعل الحديد محشورا بالإضافة إلى كونه ملحوما بالإيوكسى - انظر شكل (٣٣ / ٨) .

وعندما يكون من الضرورى تثبيت الصلب الإضافى من نهايته فعادة يكون من الأنسب تركيبه على هيئة قطعتين منفصلتين يتم لحامهما أو وصلهما معا بعد تثبيت كل منهما - انظر شكل (٣٣ / ٨) - فإدخال نهايتى سبخ واحد فى ثقبى تثبيت يمكن أن يكون مستحيلا وفى الغالب يكون صعبا مما يتسبب فى إحداث ضرر بثقبى التثبيت عند محاولة دفع نهاية السبخ فى مكانها .

وإذا أمكن قطع سطح الخرسانة بسهولة فيمكن تثبيت الحديد في شقوق يتم قطعها في سطح الخرسانة ، هذه الشقوق تكون على شكل ذيل يمامة (Dovetail slots) أى متسعة من أسفل أكثر من أعلى ، حيث يساهم ميل حرف الشق بالنسبة لاتجاه الإجهادات في السخ على حسن تثبته - شكل (٨ / ٣٤) .

٤ / ٦ / ٨ - دهان الأسياخ - شكل (٨ / ٣٥) - :

هناك اختلاف كبير فى وجهات النظر حول الحاجة لدهان الأسياخ فى الأماكن الجارى إصلاحها ، ولكن الذى لا خلاف عليه أن اللجوء إلى دهان الأسياخ كاحتياط إضافى لا يغنى عن تنظيفها تماما من الآثار الضارة للكلوريدات ، وفى الحالات التى يصعب فيها تنظيف الصلب تماما ويوصى بدهان هذه الأسياخ فإن الدهان ليس بديلا عن إزالة الصدأ ، وإنما يمكن للدهان حماية الأسياخ غير الملوثة ، وأنواع الدهان المستخدمة يمكن تقسيمها عموما إلى :

١ - ملاط الأسمنت Cement slurry .

٢ - ملاط الأسمنت المحسن بالبوليمز أو اللاتكس .

٣ - الإيوكسى - بالإضافات القاعدية أو بدونها .

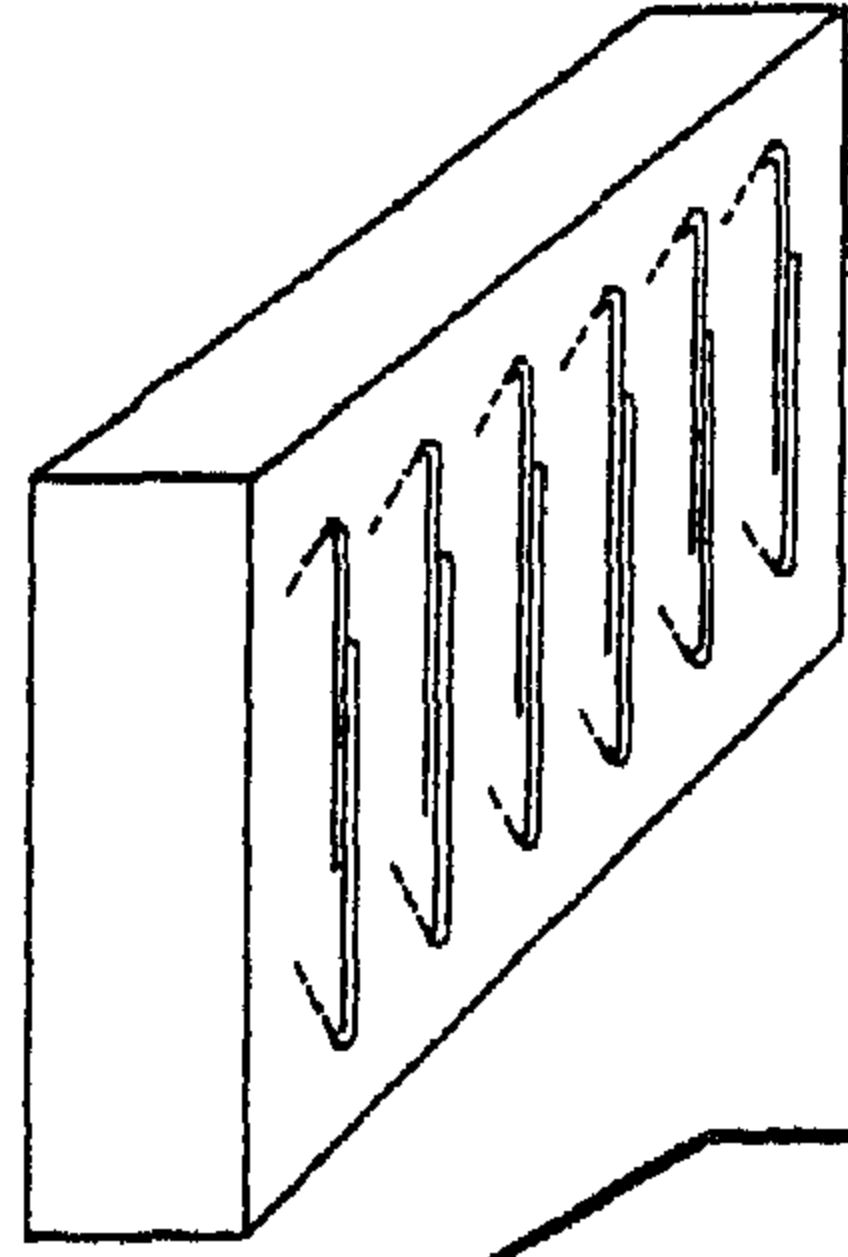
٤ - دهان أولى مانع (Inhibitive primer) - مثل كرومات الزنك Zinc chromate .

٥ - دهان أولى ذواب (Sacrificial primer) غنى بالزنك .

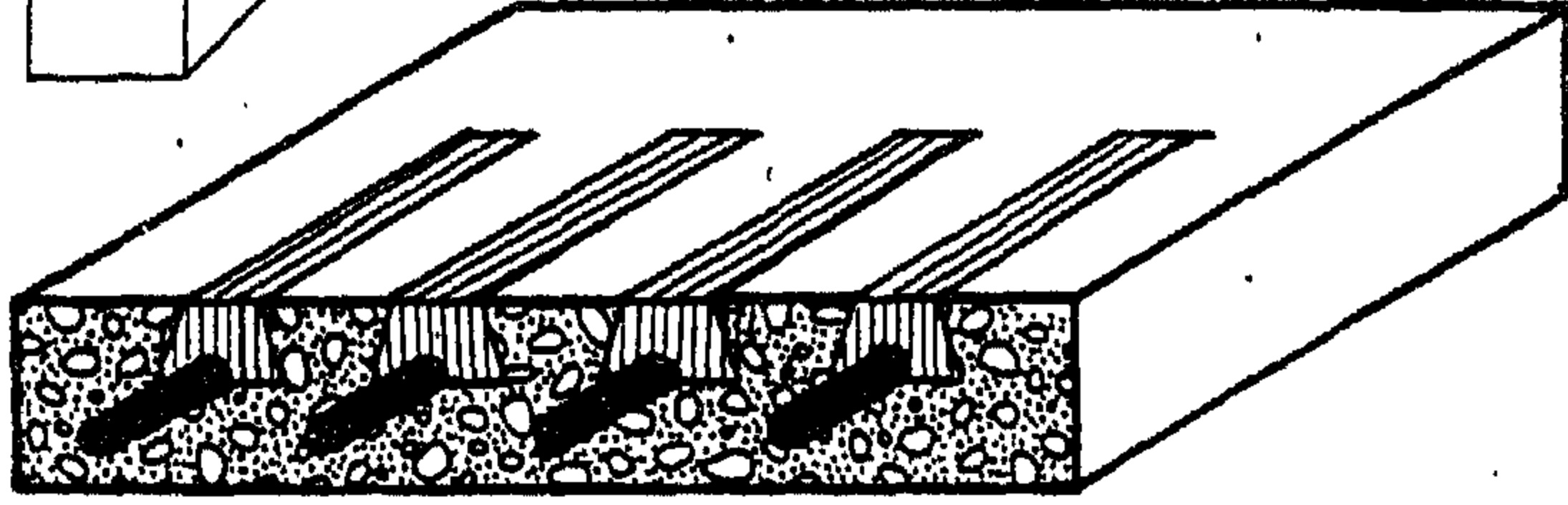
وبديل الدهان هو مونة الأسمنت ، فمونة الأسمنت فى أى إصلاح تعتمد على مواد أسمنتية ذات خلطة مصممة جيدا تقوم بحماية أسياخ التسليح أفضل من أى دهان ، ومسألة هل يجب استخدام الدهان أو لا ، يجب أن تعتمد على طريقة الإصلاح ومونة الإصلاح والظروف الخاصة بالعضو المراد إصلاحه .

فالإصلاحات التى تعتمد على مواد أسمنتية يفضل ألا يستعمل معها دهان الأسياخ ؛ لأن ذلك الدهان سيصبح طبقة عازلة تمنع الحماية القاعدية التى توفرها مونة الأسمنت من الوصول إلى الأسياخ .

وملاط الأسمنت المحسن يمكن أن يجف بسرعة بحيث يصبح غير فعال فى الإصلاحات التى تتطلب تركيب الشدة بعد دهان الأسياخ ، ولكنه يصلح فى الحالات



شكل (٨ / ٣٣) حفر
التثبيت مائلة على اتجاه
إجهادات الشد



شكل (٨ / ٣٤) أسياخ الربط توضع في فجوات ذات أجناب مائلة



شكل (٨ / ٣٥) دهان الأسياخ بملاط الأسمنت

التي يكون فيها الزمن بين دهان الأسياخ ووضع مونة الإصلاح قصيرا .
وهناك اتجاه لتفضيل الدهان الذواب الغنى بالزنك ؛ لأنه وجد أنه يوفر للحديد الحماية الأولية المطلوبة ، وإن كان تأثيرها على المدى الطويل لم يدرس تماما بعد .

ويستخدم دهان الإيوكسي المكون من اتحاد مادتين في حماية تسليح الخرسانة المعرضة لأجواء ضارة جدا ، وقد وجد أنه إذا ظلت طبقة الدهان سليمة فإنه يمكنها حماية الأسياخ بفاعلية ضد الصدأ ، أما إذا كان هناك خطر من حدوث تمزق في طبقة الدهان فمن المهم عدم وجود أسياخ غير مدهونة بالقرب من الأسياخ التي تمزق دهانها لأن هناك خطراً من تكون تيار صدأ قوى بين القطب الموجب في الأسياخ العارية وبين القطب السالب الذي سيتكون في أماكن تمزق طبقة الدهان مسبباً صدأ للحديد المدهون ، ويستحسن عدم استخدام صلب التسليح غير القابل للصدأ والحديد المجلفن في نفس القطاعات المستخدمة فيها حديد عادي ؛ لأن اتصالهما يمكن أن يزيد من معدل الصدأ في أماكن القطب السالب البعيدة بسبب تأثير الجلفنة (Galvanic action) .

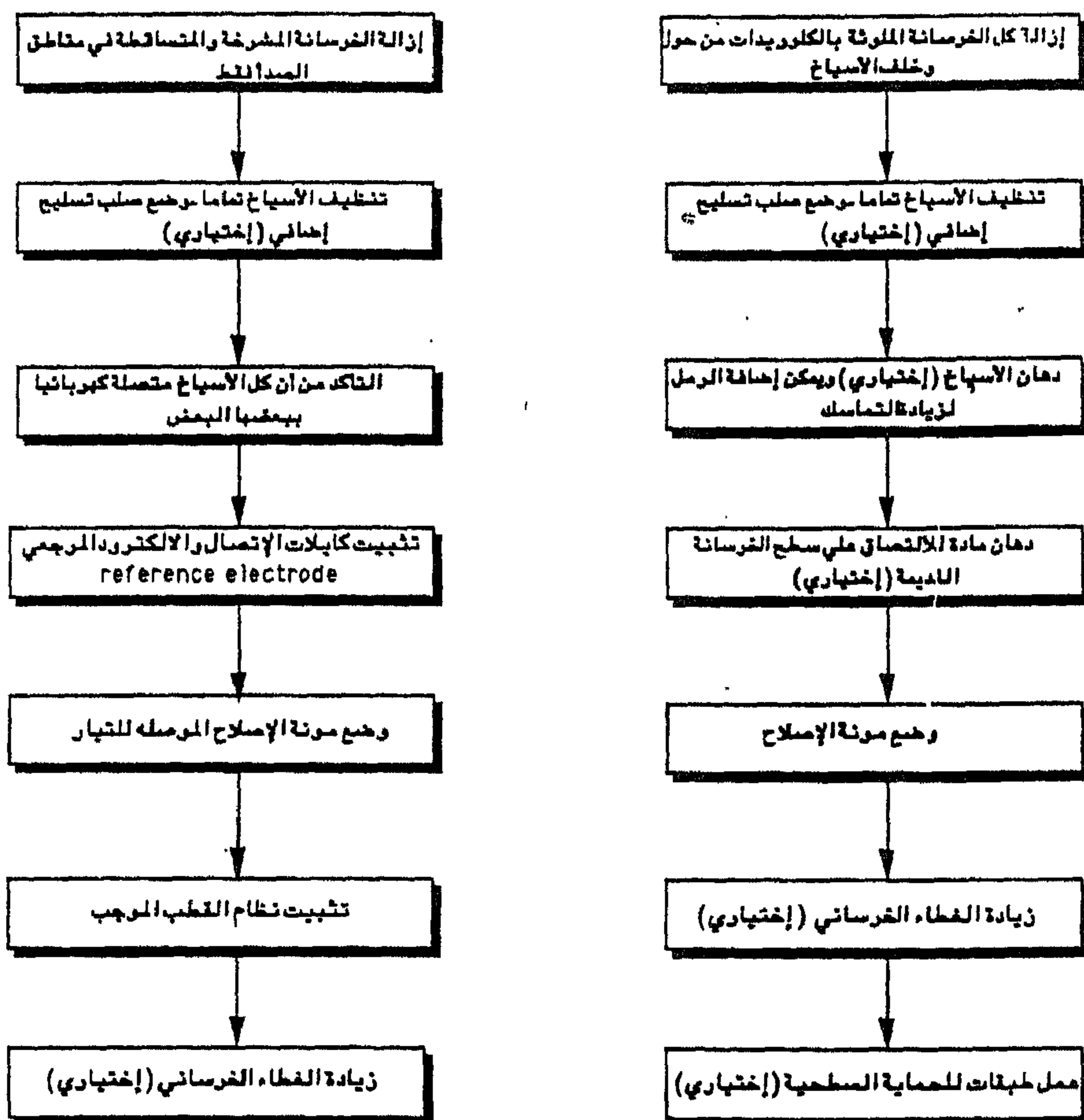
٤ / ٦ / ٩ - الإصلاح باستخدام نظام الحماية الكهربية

Repair with cathodic protection :

أسس ومكونات نظم الحماية الكهربية مبينة بالتفصيل في قسم (٥ / ٢ / ٣٣) من الباب السابع ، وتختلف خطوات هذه النظم في إصلاح صدأ الحديد الذي سببه الكلوريدات عن خطوات الإصلاح بالطرق التقليدية - كما يظهر شكل (٨ / ٣٣٦) - ففي الإصلاح بنظام الحماية الكهربية لا بد أن تكون أسياخ التسليح دائماً متصلة كهربائياً لتفادي التيارات المتناثرة ، فقد تسبب هذه التيارات المتناثرة صدأاً للسياخ غير متصل بنظام الحماية الكهربية بمعدل أسرع مما لو لم تكن هناك حماية كهربية .

وهناك أساس هام في نظم الحماية الكهربية هو أن الدائرة الكهربية يجب ألا تقطعها مواد غير موصلة للكهرباء بأي حال من الأحوال وذلك أثناء الإصلاح ، ويمكن أن يحدث هذا إذا كانت مونة الإصلاح ذات أساس بولمري أو عند الحقن باستخدام مواد راتنجية أو بولمريه .

والإصلاح باستخدام نظام الحماية الكهربية يجب أن يسبقه فحص دقيق للمنشأ ، وهذا يشمل أماكن الأسياخ ، ووجود اتصال كهربائي بينها ، ومحتوى الكلوريدات ،



أ- الطريقة التقليدية

ب- طريقة الحماية الكهربية cathodic protection

شكل (٣٦) طرق الإصلاح غير الإنشائي لصدأ الحديد الذي نشأ عن زيادة الكلوريدات

ووجود أعمال إصلاح أخرى وقياس النقص في قطر الأسياخ نتيجة الصدأ وقياس القابلية الكهربائية للصلب .

وتتضمن خطوات تركيب نظام الحماية الكهربائية الخطوات التالية :

١ - إزالة الخرسانة المتساقطة والمشرخة حول الأجزاء الصدأ من الأسياخ واستبدالها بمونة إصلاح موصلة للتيار .

٢ - إذا كان الصلب قد صدأ بدرجة كبيرة فلا بد من بحث احتمال إضافة أسياخ ، وفي هذه الحالة تضاف الأسياخ قبل وضع مونة الإصلاح .

٣ - سطح الخرسانة الجارى إصلاحها لا بد من تخشينه يدويا أو باستخدام مدفع الرمل ؛ لتحسين التماسك بينه وبين الطبقات الموصلة التي ستوضع عليه .

٤ - يوضع نظام القطب الموجب - أنظمة القطب منفصلة في قسم (٣ / ٢ / ٥) من الباب السابع - وتوصل الكابلات ثم يتم عمل الطبقات الموصلة أو الدهانات أو غيرها .

٥ - بعد انتهاء تركيبه يتم اختبار نظام الحماية الكهربائية كل فترة للتأكد من فاعليته في تقليل معدل الصدأ إلى الحد المقبول ، وعندما تدعو الحاجة يمكن عمل تعديلات على الجهد الكهربى الداخلى والتيار الكهربى للتحكم فى منع حدوث الحماية الزائدة .

٤ / ٧ - وقف تقدم الشروخ :

٤ / ٧ / ١ - التزيرير ^(٨) (Stitching) :

وتتمثل هذه الطريقة فى حفر ثقوب على جانبى الشرخ ولحام دبابيس الشيت - قطع معدنية على شكل ب بأرجل قصيره - عبر الشرخ ، وتستعمل هذه الطريقة عندما يصبح من الضرورى إيجاد مقاومة شد عبر الشروخ الرئيسية ، ويلاحظ أن تزيرير الشرخ يؤدى إلى زيادة جساءة المنشأ مما يساعد على زيادة منع الحركة (Restnaint) للمنشأ ككل ، مما قد يؤدى إلى حدوث شروخ فى أماكن أخرى ، ولذا فقد يكون من الضرورى تقوية الأجزاء المجاورة بإضافة تسليح خارجى مدفون فى طبقات مناسبة .

خطوات التنفيذ :

١ - احفر ثقوبا على جانبى الشرخ .

٢ - نظف هذه الثقوب جيدا .

٣ - ثبت أقسام دبابيس التزيرير فى هذه الثقوب باستعمال مونة غير منكشمة (Nonshrinking mortar) أو باستعمال راتنجات الإيوكسى ، ويجب أن تكون دبابيس التثبيت مختلفة الأطوال والاتجاهات - كما هو مبين فى شكل (٨ / ٣٧) - ويجب وضعها بحيث تصبح إجهادات الشد المنقولة عبر الشرخ غير مركزة فى مستوى واحد وإنما موزعة على منطقة معقولة .

ويستحسن تقليل المسافات بين دبابيس التثبيت عند نهاية الشرخ ، كما يستحسن عمل ثقب فى نهايتى الشرخ لقفله وتوزيع تركيز الإجهادات ، وكلما أمكن يفضل تزيرير جانبى القطاع الخرسانى حتى لا تتسبب الحركة المستقبلية للمنشأ فى ثنى الدبابيس ، ولكن فى الأعضاء المعرضة لعزوم انحناء والشرخ بناحية الشد فقط فيمكن فى هذه الحالة تزيرير ناحية واحدة ، أما فى الأعضاء المعرضة لإجهادات شد مركزية فيجب أن يكون التزيرير متماثلا حتى ولو احتاج الأمر إلى الحفر أو إزالة المباني للوصول إلى الجانب الآخر من القطاع الخرسانى .

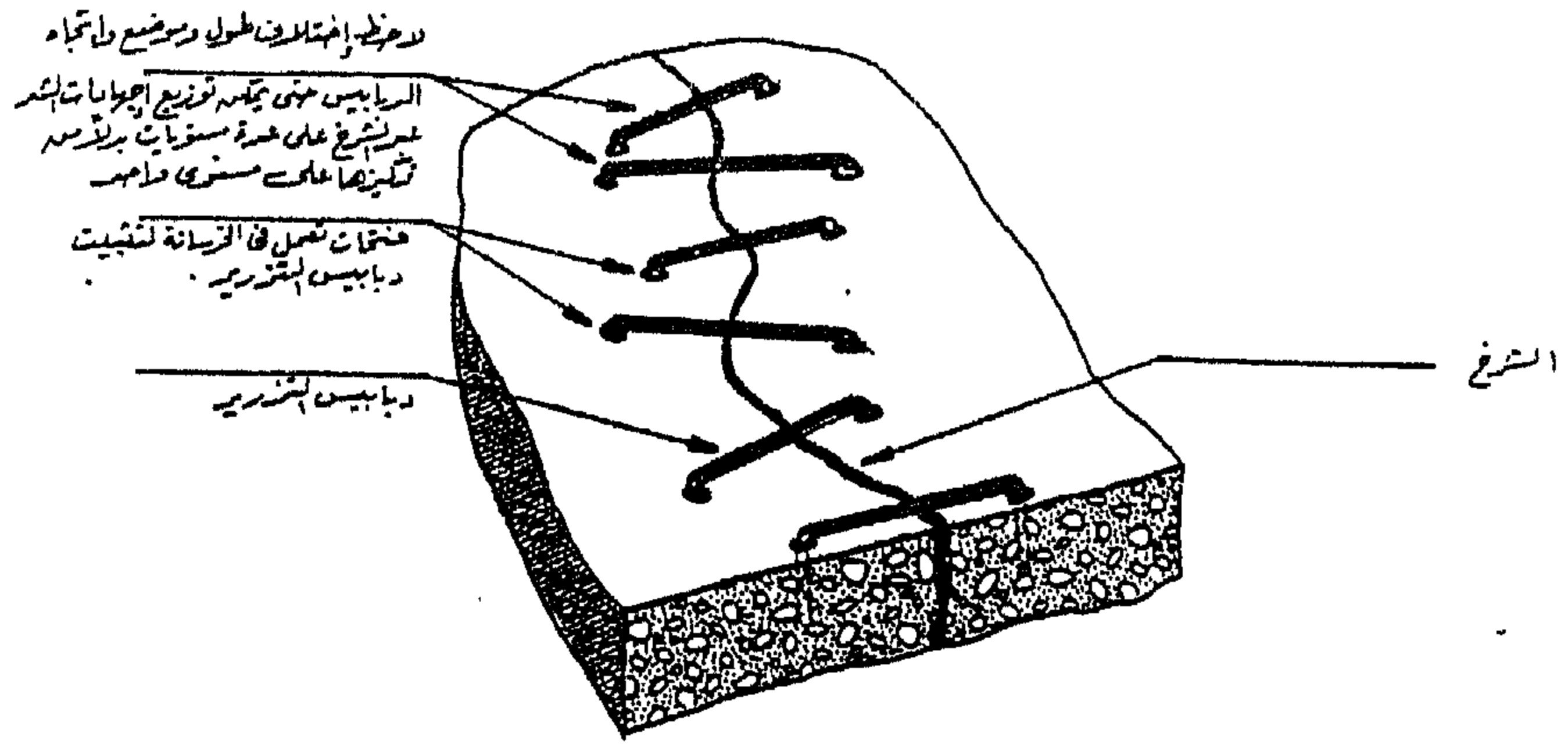
ولن يؤدى التزيرير إلى قفل الشرخ ولكنه سيمنع تقدمه أو تزايد اتساعه مستقبلا ، ولذا فعندما يكون هناك احتمال أن الشرخ يقفل أو يفتح مستقبلا - حركة فى الاتجاهين - فلا بد من تقوية هذه الدبابيس وجعلها أكثر جساءة عن طريق - مثلا - صب طبقة من الخرسانة المسلحة عليها .

٤ / ٧ / ٢ - التثبيت Crack arrest :

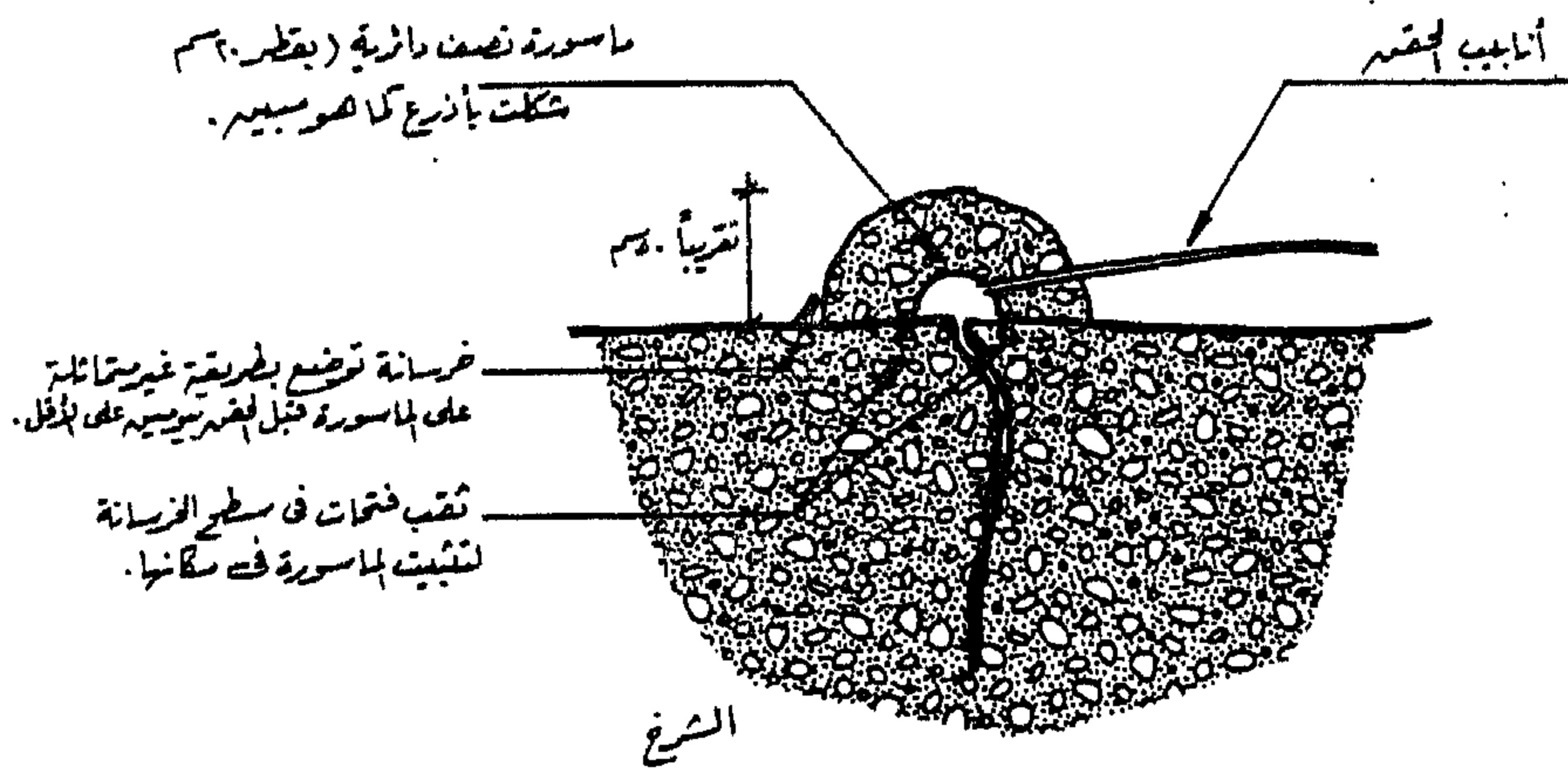
أثناء تنفيذ المنشآت التى تحتوى خرسانة كتلية (Massive Concrete) فقد تظهر شروخ سطحية نتيجة فروق درجات الحرارة بين السطح والداخل أو نتيجة القيد الداخلى على الحركة - راجع فصل (٢ / ٣ / ٣) الباب الرابع - وقد تتقدم هذه الشروخ فى خرسانة جديدة مع استمرار عملية التنفيذ ، مثل هذه الشروخ يمكن تثبيتها ووقف تقدمها عن طريق عرقلة الشرخ وتوزيع إجهادات الشد المسببة له على مساحة أكبر (١٦) .

خطوات التنفيذ :

١ - ضع شريحة مانعة للالتصاق أو غشاء أو شبكة من الحديد فوق الشرخ أثناء تقدم العمل بالخرسانة ، ويمكن أيضا استعمال نصف ماسورة لهذا الغرض - انظر شكل (٨ / ٣٨) - والماسورة النصف دائرية التى تستعمل لعرقلة الشروخ أثناء صب



شكل (٨ / ٣٧) وقف تقدم الشرخ عن طريق توريده



شكل (٨ / ٣٨) وقف تقدم الشرخ عن طريق تثبيته

الخرسانة الكتلية تكون عبارة عن نصف ماسورة قطرها ٢٠ سم تقطع طوليا إلى نصفين ، وتثنى على شكل نصف دائرة بشفتين كل منهما حوالى ٧ سم .

٢ - نظف المنطقة المحيطة بالشرح جيدا .

٣ - ضع الماسورة على هيئة قِطْع ، طولها يتحدد حسب شكل الشرخ ، بحيث تظل متمركزة على الشرخ .

٤ - الحزم قطع الماسورة معا ، ويمكن أيضاً عمل ثقوب فى الخرسانة السطحية لتثبيت قطع المواسير فى مكانها - انظر شكل (٨ / ٣٨) .

٥ - يتم فتح ثقوب فى قمة الماسورة لإدخال مواسير الحقن .

٦ - بعد وضع مواسير الحقن يتم تغطية الماسورة بخرسانة توضع على جانبي الماسورة باليد .

٧ - بعد يومين يتم حقن الماسورة والشرح ، وبذلك نحصل على اتصال إنشائي كامل أو جزئى فى منطقة الشرخ .

٥ - الإصلاحات الإنشائية

٥ / ١ - الحقن بالإيوكسي :

يستعمل الحقن بالإيوكسي لإصلاح شروخ الخرسانة المسلحة لإصلاح إنشائيا ، أى يستعمل عندما يكون المطلوب استعادة المقاومة والجساءة للعضو الخرساني المصاب ، وذلك لأن الإيوكسي مادة قوية تتمتع بمقاومة عالية للضغط ، كما أن قوة تماسكها مع الخرسانة عالية .

وقد بدأ استعمال الحقن بالإيوكسي ينتشر في البلاد المتقدمة من الستينات ، ومنذ ذلك الوقت حدث تطور كبير في المواد والمعدات والخبرة المستقاة من أعمال الإصلاح المتعددة التي تمت ، وقد مكن هذا التطور في خواص الإيوكسي وفي أساليب الحقن ومعداته من حقن الشروخ الرفيعة (١ - ٢ مم) ودخول الإيوكسي فيها بعمق كبير .

وإذا تم تنفيذ الإصلاح بالحقن بطريقة سليمة فإنه يمكن أن يعمر مدة طويلة ، وذلك لأن الإيوكسي يكون محميا داخل الكتلة الخرسانية من الإضاءة الشديدة أو دورات التجمد والذوبان أو الكيماويات أو البرى ، أو المؤثرات الأخرى التي تنقص بطريقة حادة العمر التشغيلي للإيوكسي في معالجة الأسطح عند استخدامه في سد الشروخ السطحية أو دهان الأسطح .

٥ / ١ / ١ - أعمال الفحص :

لا بد من فحص العضو المراد إصلاحه فحصا دقيقا لمعرفة اتساع الشروخ ومدى انتشارها وعمقها وهل هي نافذة إلى الوجه المقابل ؟ لأن كل هذه المعلومات ضرورية لتحديد نوع المادة المستخدمة في الحقن والضغط المطلوب وأسلوب الحقن .. إلخ ، كما أن تحديد سبب الشروخ وهل هي شروخ ستوسع مستقبلا أم لا ضرورى كذلك .

أ - الفحص البصرى :

ويتم فيه قياس اتساع الشروخ بطريقة باستخدام أدوات قياس اتساع الشروخ الموضحة في قسم ٤ / ٢ / ١ (من الباب الثالث) ، ورفعها على رسم يبين شكل الشرخ

واتساعه فى الأماكن المختلفة ، ويمكن استخدام التصوير الفوتوغرافى لفحص الأماكن التى يصعب الوصول إليها ، كما يمكن استخدام التصوير التلفزيونى للأماكن الموجودة تحت الماء (دعامات الكبارى - السدود - المنشآت البحرية) ، كما تستخدم أساليب علم وصف الصخور (Petrography) فى ذلك أيضا .

ب - الموجات فوق الصوتية :

وقد سبق شرحها فى قسم (٤ / ٢ / ١) (خ ٨) الباب الثالث ، وتؤخذ قراءات للموجات فوق الصوتية لغرضين :

١ - الغرض الأول : هو تحديد انتشار الشروخ وجودة الخرسانة .

٢ - الغرض الثانى : هو التحقيق من نفاذ الإيوكسى واختراقه الشروخ بكامل عمقها ، وذلك بمقارنة نتائج قراءات الموجات فوق الصوتية قبل وبعد الحقن .

ونائج قراءات الموجات فوق الصوتية يعتمد تحليلها على الخبرة باستخدام هذه الطريقة ، ولكن السرعات العالية عموما تعنى خرسانة جيدة لا تحتوى على شروخ ، أما السرعات البطيئة فتعنى خرسانة ضعيفة إذا ظهر على شاشة جهاز مرسمة الذبذبات (Oscilloscope) نبضتى الإرسال والاستقبال فقط ، أما ظهور نبضة ثالثة فيعنى وجود شروخ فى مسار النبضة - شكل (٣ / ٢٤) الباب الثالث - وإذا لم يتم استقبال أى إشارة أو كانت الإشارة غير منتظمة (Erratic signal) فهذا يعنى أن الخرسانة بها شقوق - شروخ كبيرة - أو مجموعة شروخ فى مسار النبضة .

ج - عينات القلب الخرسانى core :

وتؤخذ عينات القلب الخرسانى من الأماكن التى بها أعرض الشروخ لمحاولة تحديد سبب الشروخ وحجم التدهور الحادث فى الخرسانة ، كما تساعد هذه العينات فى تحديد عمق الشروخ كذلك - راجع قسم ٤ / ٢ / ٢ (من الباب الثالث) .

٥ / ١ / ٢ - الأعمال التنفيذية :

وتشمل تجهيز السطح ، وحقن المياه لتحديد مسار الشروخ والضغط المطلوب ، وسد الشروخ السطحية لمنع تسرب الإيوكسى ، وتركيب منافذ الحقن تمهيدا لعملية الحقن ذاتها .

أ - تجهيز السطح :

وفيها يتم إزالة الخرسانة والمواد السائبة من حول الشروخ ، وكذلك إزالة المواد التي ترسبت على السطح ، ويتم ذلك بتنظيف سطح الخرسانة باستخدام الرمال المندفعة (Sand blast) ، وتنظيف السطح وإزالة المواد السائبة هام قبل الشروع فى سد الشروخ السطحية ، وذلك لكى يصبح الالتصاق كاملا ، وتؤدى عملية سد الشروخ دورها فى تحمل الضغط العالى أثناء الحقن وعدم تسرب الإيوكسى إلى الخارج .

ب - حقن المياه :

حقن المياه تحت ضغط يساعد على الآتى :

١ - قياس كميات التدفق ومعدلاته .

٢ - تعقب التدفق ومساراته .

٣ - تقدير مدى التدهور وانتشار الشروخ .

٤ - تنظيف الشقوق المتسعة من المواد السائبة .

ويظهر خروج المياه من الأسطح المقابلة لشروخا قد لا تكون ظاهرة قبل هذه العملية ، ويتم سد هتلك الشروخ أيضا قبل البدء فى الحقن .

ج - سد الشروخ السطحية :

يجب سد الأسطح الخارجية التى بها شروخ - ولو كانت شروخا شعرية - كما سبق إيضاحه فى قسم (٤ / ٥ / ٣ / ٦) ، وتساعد عملية حقن المياه فى إظهار كل الأماكن المحتاجة إلى سد سطحي (Surface sealing) ، ويجب أن تتحمل المادة المستخدمة فى السد الضغط المصاحب لعملية الحقن ولا يحدث تسرب للإيوكسى إلى الخارج ، وفى حالة الشقوق الواسعة فتستخدم إحدى طرق سد الشروخ المبينة فى قسم (٤ / ٥ / ٣) ، ويستحسن أن تكون المواد المستخدمة فى السد السطحي ذات مرونة كافية ، بحيث لا يحدث بها شروخ تحت تأثير الضغط المصاحب للحقن .

د - تركيب منافذ الحقن :

يتم حفر ثقب لتركيب منافذ الحقن فيها على الشروخ التى يسمح اتساعها بحقنها ،

والتي يظهر من فحصها أنها عميقة ومتصلة بغيرها من الشروخ ، وتكون هذه الثقوب على مسافات من ٢٥ - ٥٠ سم حسب عرض الشرخ والعوامل الأخرى التي تؤثر على تدفق الإيوكسي ، وكلما كان الشرخ أقل اتساعا كلما أصبح من الضروري زيادة منافذ الحقن ، وتكون هذه الثقوب أعمق كلما زاد عمق الشروخ حتى يصل الإيوكسي إلى التغلغل في عمق الشرخ كله .

ويستحسن أن يكون المثقاب المستعمل في حفر منافذ الحقن من النوع المزود بمصدر مياه دوار Water swivel بجوار رأس المثقاب ، حيث يؤدي اندفاع المياه أثناء عملية الثقب إلى غسل المواد الناعمة وفتات الخرسانة - نواتج الحفر - من الثقب حتى لا تتراكم في الشروخ وتمنع تدفق الإيوكسي ، أو يكون المثقاب من النوع المتصل بوحدة لسحب الهواء أثناء الثقب .

وفي حالة الشروخ غير العميقة يمكن استخدام طريقة لحام حلقات الحقن - انظر قسم (٤ / ٥ / ٣ / ٦) - على سطح الشرخ بدلا من عمل ثقوب به ، أما في حالة الشروخ العميقة فتركب حلقات الحقن عن طريق جلبة ، بحيث يتيح اتساع فوهة الجلبة بسرعة أكبر لتدفق الإيوكسي في الثقوب .

ولا يشترط أن تحقق كل منافذ الحقن إذا كان تدفق الإيوكسي جيدا ، وتستخدم المنافذ التي لن تحقق في هذه الحالة لرصد عملية تغلغل الإيوكسي في الشروخ وملئها تماما ، حتى يظهر الإيوكسي من منافذ الحقن المجاورة للمنفذ الجاري حقنه .

٥ / ١ / ٣ - المواد المستخدمة :

أ - خواصها :

نظرا لأهمية بعض خصائص الراتنجات الإيوكسية المستعملة في الإصلاحات الإنشائية ، فالمواد المستعملة لأول مرة لابد من العناية باختبارها والتأكد من جودتها ، ولكن أفضل المواد لا يتظر منها أن تعمل بكفاءة إذا لم يتم التعامل معها بدقة ، فتركيب الإيوكسي ذات النسبة ٢ : ١ - وهي من أكثر النسب الشائعة - يجب أن يتم خلط المادة اللاحمة والمالئة لها بهذه النسبة بالضبط وبكل دقة وإلا نقصت مقاومة المادة الناتجة نقصا كبيرا ، ويجب خلط المادتين خلطا كاملا وليس مجرد مزجهما معا وإلا نتجت مادة ضعيفة ، ورغم أن الخلط اليدوي ممكن فمن الأفضل استعمال معدات الحقن التي يتم فيها خلط المادتين آتوماتيكيا .

وبالنسبة لخواص المواد المستخدمة فى الحقن فيمكن تلخيصها فى الآتى :

- ١ - لزوجة منخفضة : كلما زاد عمق الشروخ أو قل اتساعها كلما كانت اللزوجة المطلوبة أقل ، وفى هذه الحالة قد يستدعى الأمر الانتظار حتى الصيف لبدء الحقن فى المناطق الباردة ، حيث إن درجات الحرارة المنخفضة تزيد اللزوجة (١٧) .
- ٢ - زمن تصلد كاف : وخاصة فى حالة الشروخ الضيقة والعميقة ، حتى يمكن تغلغل الإيوكسى فى كل الشروخ قبل تصلده - ٣٠ إلى ٤٥ دقيقة تعتبر كافية .
- ٣ - مقاومة تماسك عالية ومقاومة ضغط لا تقل عن مقاومة الخرسانة للضغط .
- ٤ - عدم التأثير بالمياه والتماسك مع الأسطح الرطبة فى حالة وجود رطوبة فى الشروخ .

ب - خلط الإيوكسى :

وهو إما أن يتم قبل الحقن أو أثناء الحقن - الخلط المستمر - كما سبق إيضاحه فى قسم (٤ / ٥ / ٣ / ٦) - والخلط قبل الحقن يستعمل إذا كان الوصول إلى العضو المطلوب حقنه سهلاً ولن يتم نقل الخليط إلى مسافات بعيدة وإلا فيستعمل الحقن المستمر ، ويتم بنقل المادتين المكونتين للإيوكسى فى خرطومين منفصلين ، ثم يتم خلطهما أثناء حقنهما فى رأس خاصة - شكل (٢٢ / ٨) .

٥ / ١ / ٤ - شروط الحقن السليم :

للحصول على عملية إصلاح سليمة باستخدام الحقن فلا بد من توافر بعض الشروط ، مثل :

١ - أن تكون الشروخ ذات سعة كافية ونظيفة وجافة ، ويمكن الوصول إليها ، ولكن مع التطورات الحديثة فى تركيب الراتنجات ذات اللزوجة المنخفضة والتي لا تتأثر بالماء وتتماسك مع الأسطح الرطبة وكذلك مع تطور معدات الحقن ، أصبح من الممكن حقن الشروخ الرفيعة (٠.٥ مم) والتي يصعب الوصول إليها ، وأصبح من الممكن حقن الشروخ الممتلئة بالماء .

٢ - الحصول على توجيهات الشركة الموردة للإيوكسى والشركة المصنعة لمعدات الضخ بعد معاينة الحالة على الطبيعة .

٣ - أن يقوم بالعمل فنيون مؤهلون مدربون على مثل هذا النوع من أعمال الإصلاح ،

وتذكر دائما أنه لا توجد وسيلة معروفة لإزالة الراتنات التي لم تنجح في ربط الخرسانة ببعضها .

٤ - أن يتم توفير منافذ لخروج المياه في حالة الشروخ المملوءة بالماء حتى لا يحاصر هذا الماء في أماكن ويمنع وصول الايوكسى إليها .

٥ - أن يبدأ الحقن في أعماق الأماكن ويتقدم نحو السطح ، وأن يبدأ في المنافذ السفلى ويتقدم إلى أعلى .

٦ - أن يتم رصد تغلغل الحقن في كل شرخ عن طريق قراءة الضغط في معدة الضخ وعن طريق خروج الماء ، ثم خروج الايوكسى من منافذ الضغط الأخرى على نفس الشرخ .

٥ / ١ / ٥ - ضخ الإيوكسى :

يبدأ ضخ الإيوكسى من أسفل نقطة في العضو ، ويتقدم العمل إلى أعلى ، ولكن في بعض الحالات يفضل البدء في أكثر الشروخ اتساعا وإن لم تكن أسفلها مكانا .

وفي حالة الشروخ المملوءة ماء فإن خروج المياه من المنافذ المفتوحة يدل على أن الإيوكسى قد بدأ يحل محل الماء ، ويتبع خروج الماء خروج سائل أبيض هو الراتنج المذاب في الماء ، ويستمر خروج هذا السائل حتى إذا تحول لونه إلى لون الايوكسى فيتم غلق هذه المنافذ الواحدة بعد الأخرى بدون إيقاف عملية الضخ ، ويستحسن عدم نقل ماكينة الضخ من منفذ لآخر بمجرد ظهور الإيوكسى في المنافذ المجاورة وإنما يستمر الضخ بعد سد هذه المنافذ حتى يتلاحظ حدوث ضغط راجع - ثبات الضغط - في هذا المنفذ ، وبهذا يحدث تغلغل شامل للشروخ المتصلة بمنفذ الحقن ، حيث إن ظهور الإيوكسى في منفذ مجاور يعنى فقط سريان الإيوكسى من منفذ الضخ إلى هذا المنفذ ويدل ذلك - وإن كانت دلالة استنتاجية بدون تأكيد - على أن الفراغات قد امتلأت في الاتجاهات الأخرى .

والضغط اللازم لضخ الإيوكسى يتناسب عكسيا مع اتساع الشرخ وعمقه ، ويتراوح الضغط بين ٣ كجم / سم^٢ إلى ١٠ كجم / سم^٢ ، والضغط المعتدل أو الضغط المتغير قد يكون أكثر كفاءة من الضغط العالى ، والضغط الزائد عن الحد قد يتسبب في اتساع الشروخ وزيادة التدهور ، وقد يؤدي إلى تمزق الطبقة التي تسد الشروخ السطحية ، ولذا

فعملية الحقن بالايوكسى يجب أن يقوم بها مقاول متخصص فى أعمال الإصلاح بالايوكسى .

٥ / ١ / ٦ - تقويم عملية الحقن :

يأخذ قراءات الموجات فوق الصوتية بعد انتهاء عملية الحقن ، يمكن الحكم على مدى الايوكسى فى الشروخ ، فزيادة سرعة النبضات عن تلك المسجلة قبل الحقن - فى نفس المواضع - تعنى تواجد الايوكسى ، ووصول هذه السرعات إلى السرعة الخاصة بالخرسانة الجيدة تعنى أن القطاع الخرسانى قد استعاد قوته .

وأخذ عينات القلب الخرسانى من مواقع متعددة تساعد أيضا فى الحكم على كفاءة الحقن ومدى تغلغل الايوكسى .

ولكن لا يمكن الحكم على سلامة الإصلاح إلا بعد تجربة الأعضاء التى تم إصلاحها فى ظروف التشغيل ، فإصلاح دعائم الكبارى التى اتسعت شروخها نتيجة دورات التجمد والذوبان يمكن الحكم عليه بدع تجربة هذه الدعائم أثناء شتاء قاس ، فعدم ظهور شروخ جديدة أو عدم حدوث تدهور جديد للخرسانة يعنى نجاح الإصلاح ، والتأعضاء الخرسانية الحاملة مثل الأعمدة والكمرات يتم رفع الحمل عنها لحين إصلاحها ، ثم بعد الإصلاح وإعادة الحمل يتم فحص هذه الأعضاء لتحديد مدى نجاح الحقن - عدم ظهور شروخ جديدة - وقد يستدعى الأمر إجراء تجربة تحميل جزئية - على جزء من المبنى - أو للمبنى كله للتحقق من نجاح الحقن .

٥ / ٢ - استبدال الخرسانة المعيبة / زيادة القطاع الخرسانى :

٥ / ٢ / ١ - صب الخرسانة :

وتستعمل عند الحاجة إلى استرداد مقاومة العضو أو تحمله مع الزمن أو مظهره - إذا كان من الخرسانة الظاهرة - إذا كان التدهور نتيجة لخرسانة معيبة أو تسليح غير ملائم ، كما تستعمل بكثرة فى إصلاح الأعضاء التى أصابها صدأ الحديد ، ويأخذ الإصلاح بهذه الطريقة إحدى صورتين : إما ملء أجزاء معينة من الأعضاء الخرسانية - نتيجة التعشيش مثلاً - أو إعادة تشكيل أوجه الكمرات والأعمدة أو إضافة طبقة خارجية للحوائط أو صب طبقة سفلية لأسقف .

وتمتاز طريقة الإصلاح بصب خرسانة جديدة بميزتين :

الأولى : أنها سهلة ورخيصة نسبيا .

والثانية : عند الرغبة فى الحصول على خرسانة ظاهرة كسطح نهائى .

أما عيوبها فتتركز فى عييين :

١ - ضرورة زيادة القطاع الخرسانى زيادة كبيرة فى أغلب الأحوال ؛ لأن أقل عمق - عرض - للخرسانة الجديدة يتراوح بين (٧,٥ - ١٠ س ك) لأسباب عملية ، وفى كثير من الأحيان سيؤدى ذلك إلى زيادة أبعاد القطاع الخرسانى لعضو المطلوب إصلاحه ، ومن الأمثلة على ذلك :

أ - إذا كان المطلوب زيادة الغطاء الخرسانى لحديد التسليح .

ب - عندما يكون هناك ازدحام فى الحديد أدى إلى تعشيش الخرسانة .

ج - عندما لا يكون إزالة الخرسانة القديمة بعمق كبير مرغوبا فيه .

وزيادة القطاع الخرسانى قد يكون لها أثر سبى على المظهر الخارجى للعضو أو للمبنى ككل بعد الإصلاح ، فإعادة ملء جزء من العضو سيؤدى إلى جزء بارز عن باقى العضو ، وزيادة القطاع الخرسانى للبحر من بحور الكمرة - حيث حلت الصدا - سيؤدى إلى بروز هذا البحر عن باقى بحور الكمرة وينفس الشيء سيحدث عند إصلاح دور واحد من عتلات خارجى ظاهر لعدة أدوار ، ككلا أن زيادة القطاع الخرسانى قد تؤثر على الأبواب والشبابيك الملاصقة للأعضاء المطلوب إصلاحها .

٢ - صعوبة الوصول إلى نفس لون وملمس الخرسانة القديمة فى حالة الخرسانة الظاهرة ، وأى اختلاف بين شكل الخرسانة الجديدة والقديمة سيزداد مع الوقت بفعل العمر والجو ، تظهر هذه المشكلة أكثر عند إعادة ملء جزء من العضو فقط وليس صب الخرسانة للعضو كله ، ولذا فقد يكون من الأفضل فى هذه الحالة إصلاح العضو كله - جانب الحائط كله أو ارتفاع العمود كله - حتى وإن كان الجزء المحتاج للإصلاح صغيرا .

والخلاصة أن استخدام الإصلاح بصب الخرسانة يتطلب جرأة ، وقد يساعد على اتخاذ مثل هذا القرار التجارب التى تظهر مدى التدهور الذى سيحدث مستقبلا لو لم يتم استبدال الخرسانة المعيبة - راجع الباب الثالث - فمثلا عدم كفاية الغطاء الخرسانى

ووصول عمق التحول الكربوني إلى أسياخ التسليح من الحالات التي تتطلب استبدال الخرسانة ، وهو إما أن يكون برش الخرسانة أو فى الحالات التي لا ينفع معها الرش يكون بزيادة القطاع الخرساني عن طريق صب الخرسانة .

٥ / ٢ / ١ / ١ - إعداد العضو للإصلاح :

أ - إزالة الخرسانة المعيبة :

يتم إزالة كل الخرسانة المعيبة بالطرق المذكورة فى قسم (٤ / ٣ / ٢) ، ويستحسن تجنب الطرق العنيفة لقطع وإزالة الخرسانة ملء أجزاء من العضو أو لصب خرسانة جديدة فى مساحة كبيرة فيستحسن أن تكون نهاية المنطقة المزالة مقطوعة بالمنشار للحصول على جواف قائمة الزوايا ، ويستحسن ألا يقل عمق القطع عن أكبر مقاس للركام المستخدم فى حالة صب الخرسانة لتصبح على سطح واحد مع الخرسانة القديمة .

ب - رش سطح الخرسانة القديمة بالماء :

يجب أن يكون سطح الخرسانة القديمة نظيفاً تماماً حتى تتماسك الخرسانة الجديدة معه وأن يكون مشبعاً بالماء داخلياً ولكنه جاف خارجياً ، والتشبع بالماء لعمق كاف ضرورى حتى لا تمتص الخرسانة القديمة الماء من الخرسانة الجديدة ، وعمق التشبع مطلوب لأن الماء لابد أن يكون متوفراً للخرسانة الجديدة لمدة ٢٤ ساعة على الأقل ، فلو كانت الخرسانة القديمة مشبعة بالماء قريباً من السطح فقط فستبدأ فى امتصاص الماء من الخرسانة الجديدة بعد بضع ساعات من صبها ، وسيمنع هذا من إمالة الأسمنت على السطح الخارج بين الخرسانتين القديمة والجديدة ، وأبسط طريقة للتأكد من تشبع الخرسانة القديمة بالماء لعمق كاف هى رشها برشاشات الماء لمدة ٢٤ ساعة قبل الصب ، ويجب أن يكون سطح الخرسانة القديمة جافاً حتى لا تتغير نسبة م / س للخرسانة الجديدة عند سطح التماسك ، ويتم ذلك بترك السطح يجف بطريقة طبيعية لمدة ساعة أو ساعتين - حسب الجو - قبل الصب ، وإعداد سطح الخرسانة القديمة على هذا النحو هام جداً للحصول على تماسك كامل للحصول على تماسك كامل .

ج - الدهان بمواد لائحة :

هناك خلاف فى رأى حول الحاجة إلى مواد لائحة بين الخرسانة القديمة والجديدة وقد أعطت التجارب نتائج متضاربة بهذا الشأن ، ولعل السبب فى ذلك أن التماسك

حساس جدا لظروف الدقيقة عند سطح التماسك ، وهذه الظروف من الصعب جعلها ثابتة في كل التجارب حتى في ظروف العمل في المعمل .

ولكن لا خلاف على أن طبقة من المونة ضرورية بين الخرسانة القديمة والجديدة لتغليف كل الركام و سطح الخرسانة المتصلدة القديمة ، ويمكن دهان هذه الطبقة أو تكونها من الخرسانة الجديدة ، ولكن حيث إن اتصالها اللصيق بالسطح القديم ضرورى فيستحسن دهانها ودمكها جيدا حتى تتماسك بقوة بالسطح القديم ، ثم صب الخرسانة الجديدة قبل أن تجف المونة ، أما إذا لم يتم دهان السطح القديم بالمونة فيجب هز الخرسانة الجديدة بعناية لتكون طبقة على السطح الفاصل وتغلف كل الركام وكل الخرسانة القديمة .

ويمكن استعمال مونة أسمنتية لا تجف بسرعة - زمن شكها من ٤٥ دقيقة إلى ساعة - ولكن إذا كان تثبيت الشدة يأخذ وقتا طويلا - جميع الشدة في صورة أجناب قائمة الزاوية ثم تثبيتها معا قد يتم بسرعة كافية - فإن استعمال الدهان بالمونة لن يصبح ممكنا لأن المونة ستجف قبل صب الخرسانة ، ويستحسن خلط مونة الدهان في خلطات سريعة لتقليل الهواء المحبوس إلى أدنى درجة ممكنة .

وتستعمل كذلك راتنجات الأيوكسى المتوافقة مع الماء (Water - compatible epoxy resins) كمادة لائحة وهى الراتنجات التى يمكن دهانها على الأسطح الرطبة - وإن كان سطح التماسك سيكون جافا - وقد كانت تستعمل على نطاق واسع قبلا ، أما الآن فيفضل استعمال المونة الأسمنتية^(١٥) وإن كان للمونة الأيوكسية ميزتان : الأولى : أنه يمكن تغيير تركيبها بحيث لا تتصلد بسرعة ، وبذلك تصبح مناسبة أكثر في الأجواء الحارة أو في حالة عمل الشدة الخشبية بعد دهان الأسطح ، والميزة الثانية : أنها تمنع تغلغل الكلوريدات من الخرسانة القديمة للجديدة بكفاءة أكبر من المونة الأسمنتية .

٥ / ٢ / ١ / ٢ - إعداد الشدة :

يستحسن أن تكون الشدة المستخدمة في صب الخرسانة لإصلاح أو تقوية الأعضاء قوية وجاسئة أكثر من لاشدة المستخدمة لصب الخرسانة المسلحة التقليدية ، لمنع الخرسانة الجديدة من التحدب بعيدا عن الخرسانة القديمة تحت تأثير وزنها ، ولتحمل قوى الضخ إذا كانت الخرسانة ستصب بالطلمبة ، ولتحمل هزات الشدة إذا كان استخدام الهزازات العادية صعبا ، ولذا فالشدات الحديدية الثقيلة هى الشدة المثالية لأعمال الإصلاح ، ليس

فقط لأنها صلبة فقط ولكن لأنها تتيح هروب حرارة إمالة الخرسانة الجديدة مما يقلل إجهادات التقلص عندما تجف هذه الخرسانة ، وعيبها الوحيد أنها تحتاج إلى ونش لحملها وتركيبها إلا في الحالات الصغيرة جدا .

ويجب أن يتم تثبيت الشدة جيدا ، فشدة صب بطنية للسقف يمكن أن تثبت بالدعائم الرأسية المرتكزة على الأرض أو على الدور السفلى ، وفي حالة الكمرات والأعمدة فيجب أن يجرى تدعيم الشدة في إنشآت قائمة وثابتة ، ولا يجوز أن يتم تثبيت التدعيم الجانبي (Struts) أو المائل (Bracing) في الشدة نفسها ، وفي بعض الأحيان - مثل الأسقف المرتفعة أو الحوائط الخارجية - يمكن تثبيت الشدة في الخرسانة القديمة بمسامير قلاووظ يمكن فكها ، وتمر هذه المسامير من فتحات صغيرة في الخرسانة القديمة ثم يعاد ملء هذه الفتحات بعناية بعد انتهاء العمل ، ويمكن استخدام الشدات المقامة للفحص وإعداد العضو للإصلاح كدعامة لشدات الصب ، ولكن يجب أن يراعى ذلك عند تصميم وتركيب شدات الفحص ، وفي هذه الحالة يجب التأكد من كفاية هذه الشدات لتوفير الدعم المطلوب .

ويجب أن يأخذ المصمم في اعتباره عن إعداد الرسومات التفصيلية للإصلاح أسلوب صب ودمك الخرسانة ، ويجب أن توفر الشدة سهولة الصب والدمك ، كما أن نوع السطح النهائي للخرسانة الأصلية والتي سيجرى صبها تؤثر في تصميم الشدة .

ويعتبر توفير مدخل مناسب لصب الخرسانة هو أهم عامل في تصميم الشدة ، وفي كثير من الأحيان يصعب توفير هذا المدخل إلا باستخدام الشدة ذات القمع أو المنقار أو شكل صندوق البريد - انظر شكل (٨ / ٣٩) - والهدف من الجزء المتسع هو توفير مجرى مائل للصب وفي نفس الوقت مكان لإدخال الهزاز لدمك الخرسانة ، وعيب هذه الشدة هو وجود جزء زائد من الخرسانة المتصلدة بعد الصب بشكل القمع يجب إزالته بعد فك الشدة ، وهذا يحدث عادة عند صب الخرسانة للوصول إلى الأبعاد الأصلية للعضو كما في حالة صب جزء من حائط أو جزء من أحد أوجه العמוד أو صب أركان الكمرات التي تم إزالة خرسانتها - شكل (٨ / ٢٧) - وإزالة هذه الخرسانة الزائدة المصاحبة لهذه الشدة يحد بلا شك خيارات نهو السطح - الخرسانة الظاهرة لا تصح مثلا - وتستخدم الشدة ذات القمع أيضا عند الصب لزيادة لاقطاع الخرساني وخاصة عند صب الكمرات والأجزاء العليا من الأعمدة والحوائط ، وإن كان من الممكن عمل ثقوب في

السقف للصب منها وإدخال الهزاز .

وهناك عامل [ر مهم فى تصميم الشدة وهو وقف تسرب المونة من جانب الشدة الملتصق بالخرسانة القديمة ، أما فى حالة التغليف الكامل للعضو بالخرسانة الجديدة فما يتبع فى تثبيت الشدة التقليدية وجعلها غير منفذة للمونة يتبع فى شدة الإصلاح أيضا ، وفى حالة جانب الشدة الملتصق بخرسانة قديمة فيمكن استعمال شريط لسد الفجوة بين الشدة والخرسانة القديمة - كما هو مبين فى شكل (٣٩ / ٨) - من المطاط أو البلاستيك .

٥ / ٢ / ١ / ٣ - تصميم الخلطة الخرسانية :

إن المتطلبات الأساسية فى الخلطة الخرسانية التى تستعمل فى الصب لاستبدال خرسانة قديمة أو زيادة القطاع الخرسانى ، هى أن يسهل صبها ودمكها فى ظروف صعبة ، وأن تكون نفاذيتها قليلة وتحملها مع الزمن كثيرا ، أما المتطلبات الخاصة باللون وشكل السطح النهائى فلا تؤثر إلا فى اختيار نوع المواد مثل اختيار نوع الأسمنت والرمل فى حالة اللون ونوع الركام الصغير - وأحيانا الكبير - فى حالة شكل السطح النهائى .

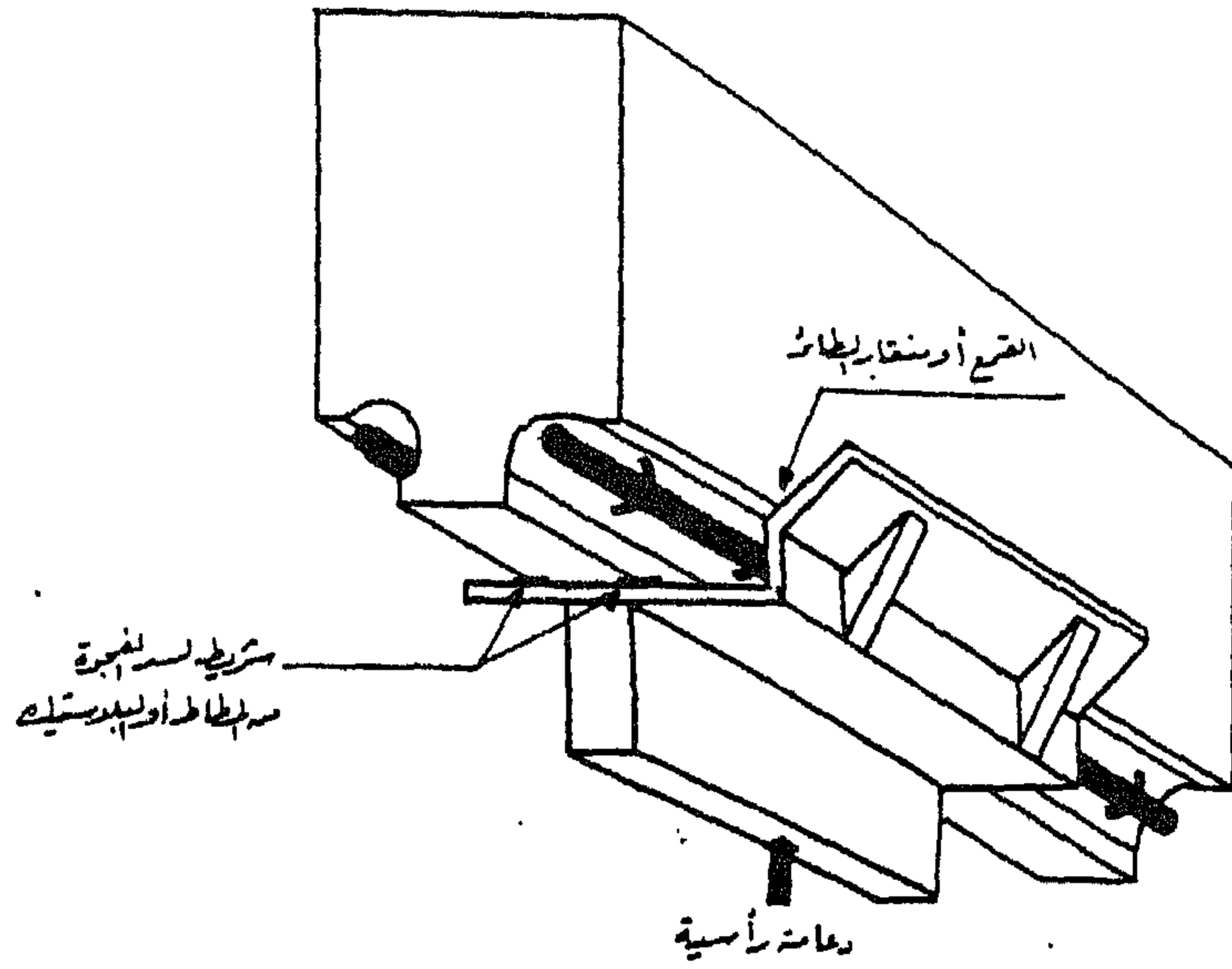
ويحتاج تصميم الخلطة المستخدمة فى الإصلاح إلى مهارة وخبرة ، ورغم أن تصميم الخلطة يتبع نفس الخطوط العريضة التى تحكم تصميم الخلطة الخرسانية فى الظروف العادية إلا أن هناك متطلبات خاصة بخلطة الإصلاح مثل :

١ - الركام :

يستحسن أن تكون خلطة الإصلاح مكونة من ركام من نفس النوع المستخدم فى الخرسانة القديمة لتقليل الإجهادات الحرارية ، ولكن إذا كان الركام الأصلى من نوعية رديئة فيجب استخدام ركام من نفس النوع الجيولوجى ، وإن كان لا يشترط أن يكون من نفس الحجر ، ولأن خلطات الإصلاح تكون عادة غنية بالأسمنت فيجب الاحتياط من عدم حدوث تفاعل بين الركام - إذا كان به سيليكات نشطة - وبين القلويات الموجودة بالخرسانة ، ويستحسن استخدام مقاس اعتبارى أصغر لركام مونة الإصلاح لأن السمك عادة ما يكون محدودا ، ويجب اختيار تدرج الرمل بحيث يقلل الإدماء إلى أدنى حد ممكن ، وخاصة عند صب الخرسانة فى بطنية الأسقف ، حيث يسبب الإدماء انفصال كاملا بين الخرسانة الجديدة والقديمة .

٢ - الماء :

يستحسن أن يكون محتوى الماء فى خلطة الإصلاح أقل ما يمكن لتقليل الإجهادات



شكل (٣٩ / ٨) شكل الشدة المستخدمة في صب كمره

الناشئة عن انكماش الخرسانة عند جفافها ، فلا يجب أن تزيد نسبة الماء : الأسمنت عن ٠.٤٥ ، وفي بعض الحالات يستحسن استعمال إضافات معادلة الانكماش (Shrinkage Compensating admixtures) التي تعمل على معادلة الانكماش والتقلص الحرارى بإحداث تمدد في الخرسانة عند تصلدها .

٣ - محتوى الأسمنت :

يجب أن يكون محتوى الأسمنت مرتفعاً لكي تتوفر المونة الكافية ، للتأكد من أن سطح الخرسانة القديمة وأسياخ التسليح قد تم تغليفها .

٤ - القابلية للتشغيل :

لأن صب الخرسانة الجديدة ودمكها عادة ما يتم في أماكن ضيقة وظروف محكمة ، فيستحسن أن تكون القابلية للتشغيل عالية - هبوط المخروط لا يقل عن ١٠٠ مم - ولكن يجب الأخذ في الاعتبار أن الخلطة السائلة ستزيد من مخاطر فقد المونة من الفجوات بين ألواح الشدة الخشبية أو قطاعات الشدات المعدنية ، وللتغلب على المتطلبات المتعارضة من انكماش قليل وقابلية للتشغيل عالية يمكن استخدام الإضافات التي تزيد القابلية للتشغيل مع تقليل نسبة الماء : الأسمنت مصل الملدنات والملدنات الفائقة (-Blasticizers, superplas-ticizers) .

ويمكن استعمال الإضافات التي تقلل نفاذية الخرسانة الجديدة مثل خبث الأفران العالية والميكروسيлика .

٥ / ٢ / ١ / ٤ - دمك الخرسانة الجديدة :

عند استبدال الخرسانة المعيبة بخرسانة جديدة ، يجب التأكيد من انسياب الخرسانة الجديد لملء كل الفراغ بدون ترك أى فجوات هوائية ، وصعوبة هذا الأمر أن أماكن الصب تكون محدودة وضيقة مما يجعل استعمال الهزازات ذات الخرطوم صعبة ، وقد يؤدي الحرص على تقليل الانكماش إلى استعمال خرسانة ذات قابلية للتشغيل متوسطة ، ولا يسمح باستعمال الخرسانة ذات القابلية العالية جدا التي لا تحتاج إلى دمك .

والطريقة العملية للوصول إلى دمك جيد هو صب الخرسانة بكميات صغيرة ودمكها باستمرار مع تقدم العمل ، وفي الأماكن التي يصعب فيها استعمال الهزازات الداخلية فإن استعمال هزازات الشدة يوفر سيولة ودمك لا بأس بهما للخرسانة الجديدة .

وفي حالة صب طبقة من الخرسانة الجديدة أسفل البلاطات المراد إصلاحها ففي بعض الأحيان يمكن عمل ثقوب في البلاطات القديمة وصب الخرسانة من أعلى ، وفي حالة أخذ عينات القلب الخرساني من البلاطات المعيبة فإن التفكير في أخذ هذه العينات في أماكن يمكن استخدامها لصب الطبقة السفلية الجديدة سيكون تفكيراً صائباً .

وإذا كان ذلك غير ممكن فيمكن كحل بديل مد شدة الطبقة السفلية إلى مجموعة من الأقماع (Hoppers) في الناحية المفتوحة من البلاطة لصب الخرسانة تحت تأثير ضغط ارتفاع مكان التغذية بالخرسانة ، وهناك حل ثالث وهو ضخ الخرسانة في ماسورة تمتد من فتحة في الكمرة الجانبية أو في الشدة إلى النهاية البعيدة للطبقة المراد صبها ، ثم يجري سحب الماسورة مع استمرار عملية الصب ، وفي هذه الحالة يجب تصميم الشدة لتحمل القوى المصاحبة لضخ الخرسانة .

والتفكير المسبق في كيفية صب الخرسانة لاستبدال خرسانة معيبة يجب أن يبدأ في مرحلة إزالة الخرسانة المعيبة ، حيث يمكن أن يؤدي ذلك إلى توفير وسائل متعددة لكيفية إدخال الخرسانة الجديدة إلى الفجوات المراد صبها وإخراج الهواء منها ، وفي هذا الصدد يجب في حالة صب الفجوات المحاطة من جميع الجوانب - بالخرسانة القديمة والشدة - أن يتم الصب من أسفل نقطة ومن أبعد نقطة عن مكان إدخال الخرسانة حتى يمكن التأكد

من خروج الهواء وملء الخرسانة الجديدة للفراغ كله ، وقد يحتاج الأمر أن يتم تزويد الشدة بعوارض مؤقتة يمكن إزالتها أثناء الصب لتوجيه الخرسانة الوجهة المطلوبة للتأكد من ملء كل الفراغ .

ويجب العناية بتصميم خلطات الخرسانة المستعملة في صب طبقات أسفل البلاطات بحيث تكون خالية من عملية الإدماء بقدر الإمكان ؛ لأن ماء الإدماء يمكن أن يسبب انفصالا كاملا بين الخرسانة الجديدة والقديمة .

٥ / ٢ / ٢ - رش الخرسانة (Gunite) :

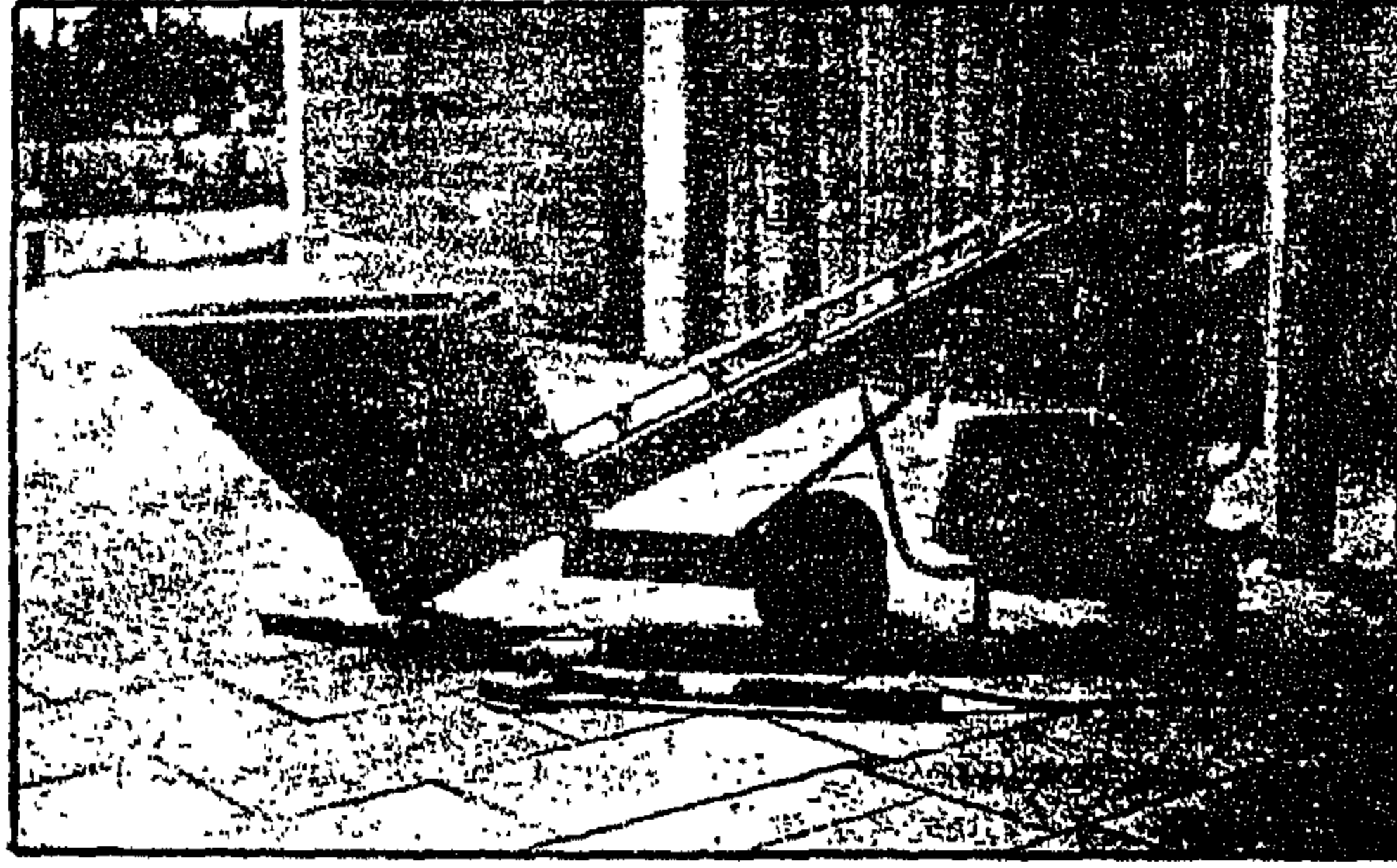
ويتم رش الخرسانة باستعمال مدفع الخرسانة (Shotcrete) ، وقد يشار إلى رش الخرسانة باللفظ (Gunite) إذا كان أكبر مقاس للحبيبات أقل من ١٠ مم ، وباللفظ (Shotcrete) إذا كان مقاسها ١٠ مم أو أكبر ، وقد يستعمل أيهما للإشارة إلى الآخر .

وهناك طريقتان لرش الخرسانة : الطريقة الجافة ، والطريقة الرطبة . ففي الطريقة الرطبة يتم خلط الركام والأسمنت والماء ، ثم يوضع الخليط في طلمبة الخرسانة العادية التي تدفعه في خرطوم حتى فوهة التصريف ، مع إضافة مصدر للهواء المضغوط عند فوهة التصريف لزيادة سرعة الخليط حتى يحدث الالتصاق بالأسطح المرشوشة . أما في الطريقة الجافة فيتم خلط الأسمنت والركام على الناشف ، ثم يدفع بالخليط خلال الخرطوم حيث يقابل رشاش من الماء قبل خروجه من فوهة التصريف . والطريقة الجافة هي الأكثر استعمالا في إصلاح المنشآت الخرسانية ، حيث إن مقاومة طبقة الخرسانة تكون ضعف مقاومة طبقة الخرسانة باستعمال الطريقة الرطبة .

٥ / ٢ / ٢ - المعدات المستعملة :

هناك عدة أنواع من معدات رش الخرسانة بالطريقة الجافة ، والنوع المبين في شكل (٨ / ٤٠) يتكون من حلة تستقبل الأسمنت والرمل بعد خلطهما جيدا وتحتفظ بهما في حالة حركة دائمة حتى يتم تغذية البرميل الدوار بهما ، ثم يتم دفعها منه عن طريق الهواء المضغوط في خرطوم مطاط إلى فوهة التصريف ، وعند فوهة التصريف تقابل الخلطة الجافة رشاش الماء (Water spray) المنذف تحت ضغط فيتم خلط الأسمنت والرمل بالماء قبل وصلها إلى السطح المطلوب رشه ، وهناك نوع آخر من معدات الرش ، يتكون من وعاء ضغط ذي فراغين ، يغذى الفراغ الأعلى بالخليط الجاف ، ثم يغذى به الفراغ الأسفل

– تحت ضغط – ومنه يسقط فى جيوب عجلة التغذية ، وعندما تدور هذه العجلة يصبح أحد الجيوب أمام فتحة الخرطوم فيندفع الخليط تحت ضغط إلى فوهة التصريف ليقابل رشاش الماء .



شكل (٨ / ٤) إحدى المعدات المستخدمة فى ضخ الخرسانة

٥ / ٢ / ٢ – المواد والخلط :

يجب أن تكون مواصفات مواد خرسانة الرش مطابقة لمواصفات مواد الخرسانة المسلحة ، ولكن يستحسن ألا يزيد المقاس الأكبر للرمل عن ١٠ مم فى حالة استخدام المعدات التقليدية – حسب قطر الخرطوم والفوهة – ولكن عادة ما يستخدم رمل الخرسانة العادى الجيد التدرج ، وقد يسبب الرمل الجاف جدا أو الرطب مشاكل ، ولذا فيستحسن أن يكون محتوى الرطوبة من ٣ – ٨ ٪ بالوزن ^(١٨) ، ونسبة خلط الأسمنت للرمل لا يمكن تغييرها كثيرا مما يسهل عملية ضبط المقادير ، ويجب أن نأخذ فى الاعتبار أن هناك كمية من الركام ترتد من الأسطح التى يجرى رشها أى أن الخلطة التى تلتصق بالسطح فعلا تكون أغنى فى محتوى الأسمنت من الخلطة التى تمت تغذيتها من معدة الرش ، وقد وجد بالتجربة أن أحسن نسبة خلط للأسمنت البورتلاندى العادى مع رمل البناء تتراوح بين ١ : ٣ – ١ : ٤ ، وهذا يعنى أن نسبة الأسمنت للرمل فى طبقة الخرسانة النهائية بعد انتهاء الرش ستكون من ١ : ٢ – ١ : ٣ ، وإذا استعملت خلطات فيها نسبة رمل أكبر من ١ : ٤ فستصبح كمية الرمال أكبر ، ولكن سينتهى الأمر فى الطبقة النهائية بنفس هذه النسب وإنما بعد إهدار كمية من الرمال وإزعاج عمال الرش .

وينم تحديد كمية المياه أيضا عن طريق الخبرة ، فاستعمال مياه بكثرة يؤدي إلى تساقط طبقة الخرسانة الجديدة ، واستعمال مياه أقل من اللازم يؤدي إلى عدم التصاقها بالسطح المطلوب رشه ، وتتراوح نسبة الماء : الأسمنت المعتادة من ٣ : ٤ ، لأنه ليس هناك حاجة لزيادة المياه لزيادة القابلية للتشغيل .

ولا تستعمل الإضافات عادة ، ولكن يمكن استعمال الأسمنت سريع التصلد إذا كان المطلوب الوصول إلى مقاومة عالية مبكرا .

٥ / ٢ / ٣ - مجالات الاستخدام :

طبقة الخرسانة المرشوشة تلتصق بقوة بأسطح الخرسانة السليمة والنظيفة بسبب اصطدامها بهذه الأسطح بسرعة عالية ، والرش أساساً عملية مستمرة ، ولذا فهي تصلح للإصلاحات الكبيرة أكثر من صلاحيتها للإصلاحات الصغيرة ، وهي تستعمل بكثرة في بناء طبقات للحوائط وبطنية الأسقف وفي تغليف الأعضاء الخرسانية التي تساقط غطاؤها الخرساني أو لها غطاء غير كاف ، كما أنها مفيدة جدا في إصلاح الخرسانات التي أضر بها الحريق أو هجوم الكيماويات .

وتصبح طريقة الرش غير اقتصادية في إصلاح الأعضاء الرفيعة بسبب انتشار المواد بعد مغادرتها فوهة التصريف ، فحتى مع استعمال فوهة ضيقة فسيحدث إهدار لكمية كبيرة من الخرسانة ، ولهذا السبب فلا بد من حماية الأسطح المجاورة أثناء عملية الرش .

٥ / ٢ / ٤ - طريقة العمل :

إن أهم عوامل نجاح عملية رش الخرسانة هو العامل الذي يقوم بالرش ، فعامل الرش هو الذي يتحكم في الوصول إلى طبقة كثيفة من الخرسانة - إذا كان هناك تيار مستمر من المواد السليمة خارج من المدفع - وكذلك طبقة لا تحتوى على جيوب من الرمال المرتدة من السطح ، وتصبح مهارته مطلوبة أكثر إذا كان الرش على أسياخ التسليح ، ويستحسن وجود عامل بجواره مزود بخراطوم هواء مضغوط ليقذف بعيدا أى رمال مرتدة من أى مكان على السطح ، وعادة يقف العمال بحيث تكون فوهة التصريف على بعد متر واحد من السطح وفي اتجاه عمودى عليه - شكلى (٨ / ٤١) ، (٨ / ٤٢) - ولكن الزاوية تتغير عند الرش فى الأركان وخلف حديد التسليح .

إعداد الأسطح للرش :

يتم إعداد العضو للرش بنفس كيفية إعداده للإصلاح ، حيث يتم إزالة الخرسانة المفككة والمتدهورة ، كما سبق إيضاحه فى قسم (٢ / ١) - وحيث إن المساحات المطلوب رشها تكون عادة كبيرة فمن المعتاد استخدام الرمال المندفعة Sand - blast والمطارق الكهربائية فى إعداد السطح ، ويمكن استخدام معدات الرش نفسها فى تنظيف السطح من أى أتربة أو شحومات برش الرمل والماء من فوهة التصريف .

ويرش السطح بالماء قبل بدء الرش بالخرسانة ، ويستحسن أن يكون الرش بالماء لمدة ٢٤ ساعة ليتشبع السطح بالماء فلا يمتص ماء مونة الرش ، ولكن يجب ترك السطح ليجف قبل الرش لمدة ساعة أو ساعتين .

استعمال شبك التسليح :

وعادة ما تستعمل شبكة تسليح عند رش الأسطح بالخرسانة إلا فى حالات الرش القليلة السمك - ٢٥ مم أو أقل - الصغيرة المساحة ، وهذه الشبكة تكون خفيفة لمقاومة الانكماش وتثبت على الأسطح المراد رشها وعلى مسافة مناسبة من السطح - شكل (٨ / ٤٣) - ويتم وصل الشبكات المتجاورة بطول رباط لا يقل عن ١٠ سم ، وسمك الغطاء الخرساني فوق هذه الشبكة يتراوح بين ٢ - ٥ سم حسب الظروف المحيطة بالعضو الخرساني - راجع جدول (٧ / ١) بالباب السابع - ويمكن تخفيض الغطاء الخرساني إلى ٥ سم أو - راسم إذا كان حديد الشبك من الحديد المجلفن ، وعند رش الأعضاء التى زودت بحديد إضافي لإصلاحها فيجب تحاشي رص الحديد بكثافة ، مما يؤدي إلى عدم وصول خرسانة الرش إلى سطح الخرسانة الذى ستتماسك معه أو عدم تغليفها لكل أسياخ الحديد .

نهو السطح :

لن يكون سطح خرسانة الرش فى نعومة سطح الخرسانة المسلحة الأصلي ؛ لأن استعمال القدة أو المسطرين فى تسوية السطح يحد منه محاولة تجنب الإضرار بالتماسك بين المونة الجديدة والخرسانة القديمة ، ولكن يمكن استعمال أدوات تسوية السطح بحذر إذا تطلب الأمر ذلك ، وإن كان الأفضل ترك سطح الخرسانة المرشوشة على ما هو عليه .

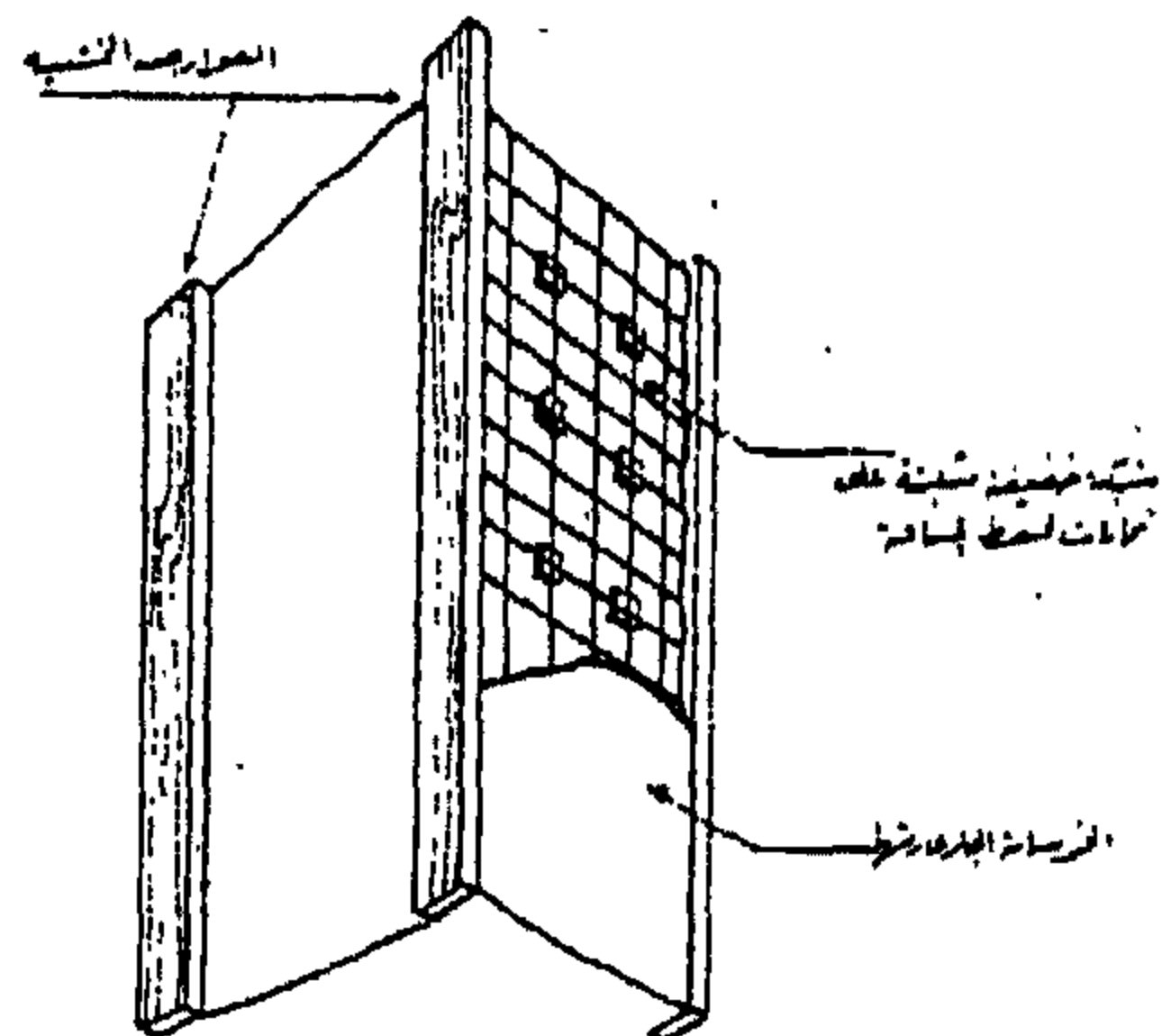
وللحصول على سمك ثابت لطبقة الرش عند رش الأعمدة والكمرات يمكن



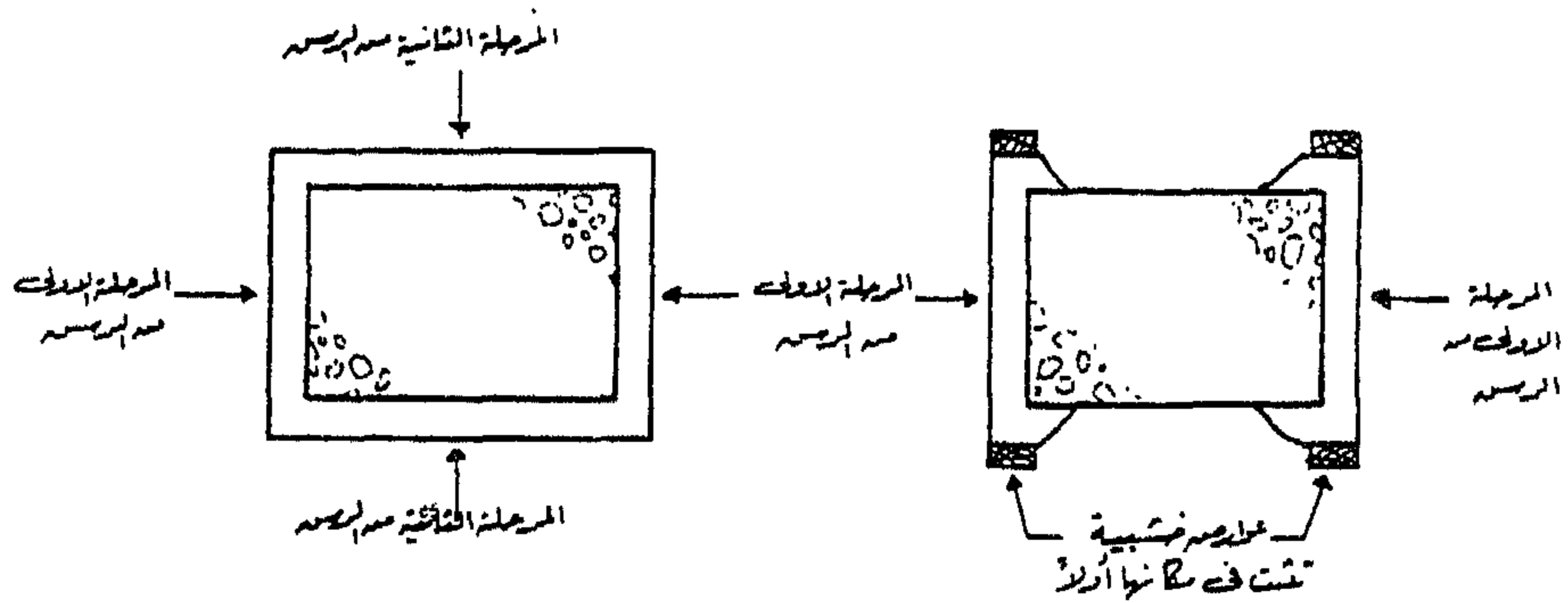
شكل (٨ / ٤١) رش الخرسانة لتستعيد الكمرة أبعادها الأصلية



شكل (٨ / ٤٢) رش حائط خرساني بعد إضافة شبكة التسليح



شكل (٨ / ٤٣) استعمال شبكات الحديد عند رش الخرسانة لمقاومة الانكماش



شكل (٨ / ٤٤) طريقة ضبط السمك والزوايا عند رش الخرسانة

استعمال عوارض خشبية مثبتة عند أركان العضو الخرساني - كما هو مبين في شكل (٨ / ٤٤) - ثم يتم الرش على مرحلتين مع تخشين حروف المرحلة الأولى قبل رش المرحلة الثانية ، وإزالة أى رمال مرتدة تتجمع عند العوارض الخشبية .

ويمكن استعمال الأسلاك لمعايرة سمك طبقة الرش على الحوائط والبلاطات ولكنها لا تؤدي إلى الحصول على أركان قائمة الزاوية في حالة رش الكمرات والأعمدة ، ويستحسن استعمال العوارض الخشبية للحصول على السمك المطلوب والحصول على زوايا حادة في نفس الوقت .

المعالجة :

كما هو الحال في أى إصلاح باستخدام المونة الأسمنتية ، فإن معالجة السطح بالماء لمدة كافية هام جدا ، ويمكن استعمال أى من طرق المعالجة المعروفة ولكن إذا تأنت المعالجة ستتم برش غشاء على الأسطح الخرسانية فيجب العناية بعدم وصول هذا الغشاء للأسطح التي لم يتم رشها بعد ، ويستحسن ألا تقل أيام المعالجة عن أربعة في الأجواء الباردة وعن سبعة في الأجواء الحارة .

الخبرة :

والخبرة والمهارة لا بديل عنهما عند استعمال رش الخرسانة ، ولذلك فلا بد من استخدام المتخصصين في هذا المجال عند تنفيذ العمل ، ولا بد أن يكون العمل طبقا للمواصفات العالمية^(١٨) في حالة عدم وجود مواصفات محلية ، وعندما يتضمن العمل

أشكالاً غريبة أو حديداً كثيفاً فيستحسن رش نموذج أو جزء صغير أولاً لاختبار نتيجة الرش قبل الشروع في العمل .

الاختبار :

من غير الممكن عمل مكعبات الاختبار القياسية برش الخرسانة مثلاً في القوالب الحديدية المخصصة لذلك ، ولذا فإذا كانت اختبارات مقاومة الخرسانة للضغط ضرورية فمن الممكن رش طبقة من الخرسانة بسبك ١٠ سم مثلاً على طاولة ٧٥ × ٧٥ سم.، وأخذ عينات القلب الخرساني Core منها واختباره - كما ورد بالباب الثالث - ومقاومة خرسانة الرش للضغط يصل إلى ٤٠٠ - ٤٥٠ كجم / سم^٢ في حالة استعمال الطريقة الجافة ، ولا تتعدى ٢٠٠ - ٢٥٠ كجم / سم^٢ في حالة استعمال الطريقة الرطبة .

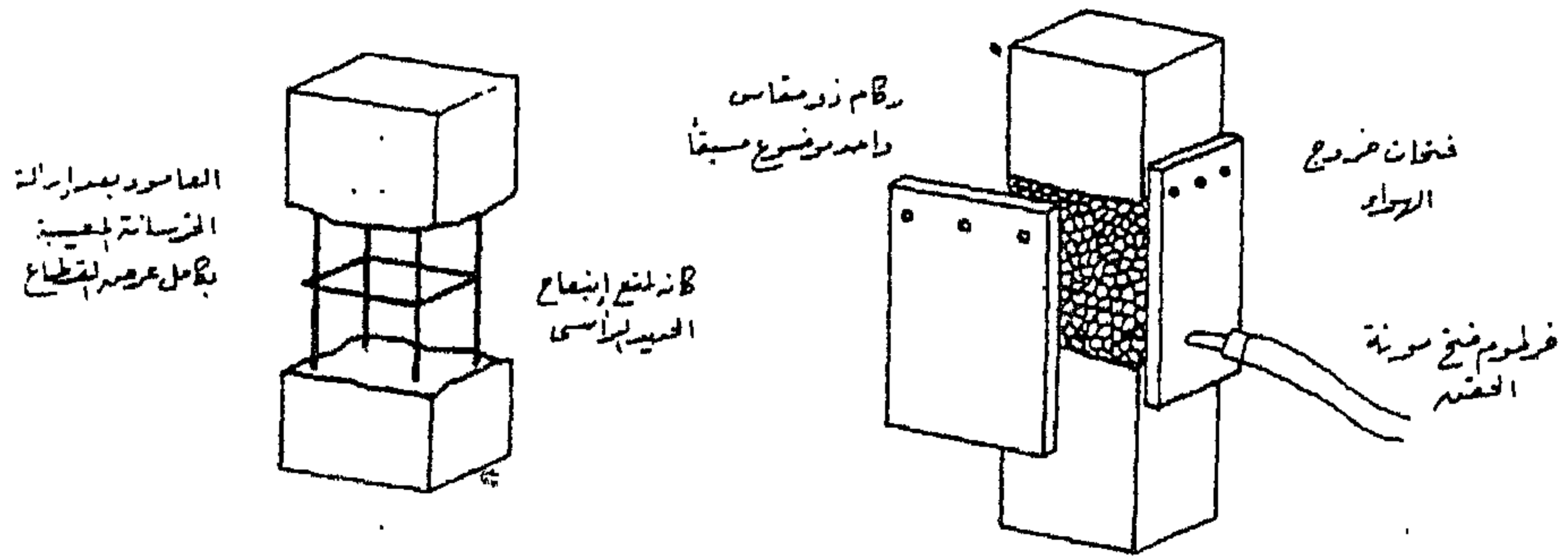
ويمكن إضافة البوليمرات إلى خرسانة أو مونة الرش في حالة الرغبة في الحصول على نفاذية أقل أو شمعك غطاء خرساني أقل ، ولا تستعمل البوليمرات إلا إذا كان استرجاع التحمل مع الزمن هو المطلوب وليس استرجاع المقاومة .

٥ / ٢ / ٣ - الحقن على الركام الموضوع مسبقاً Prepacked aggregate concrete :

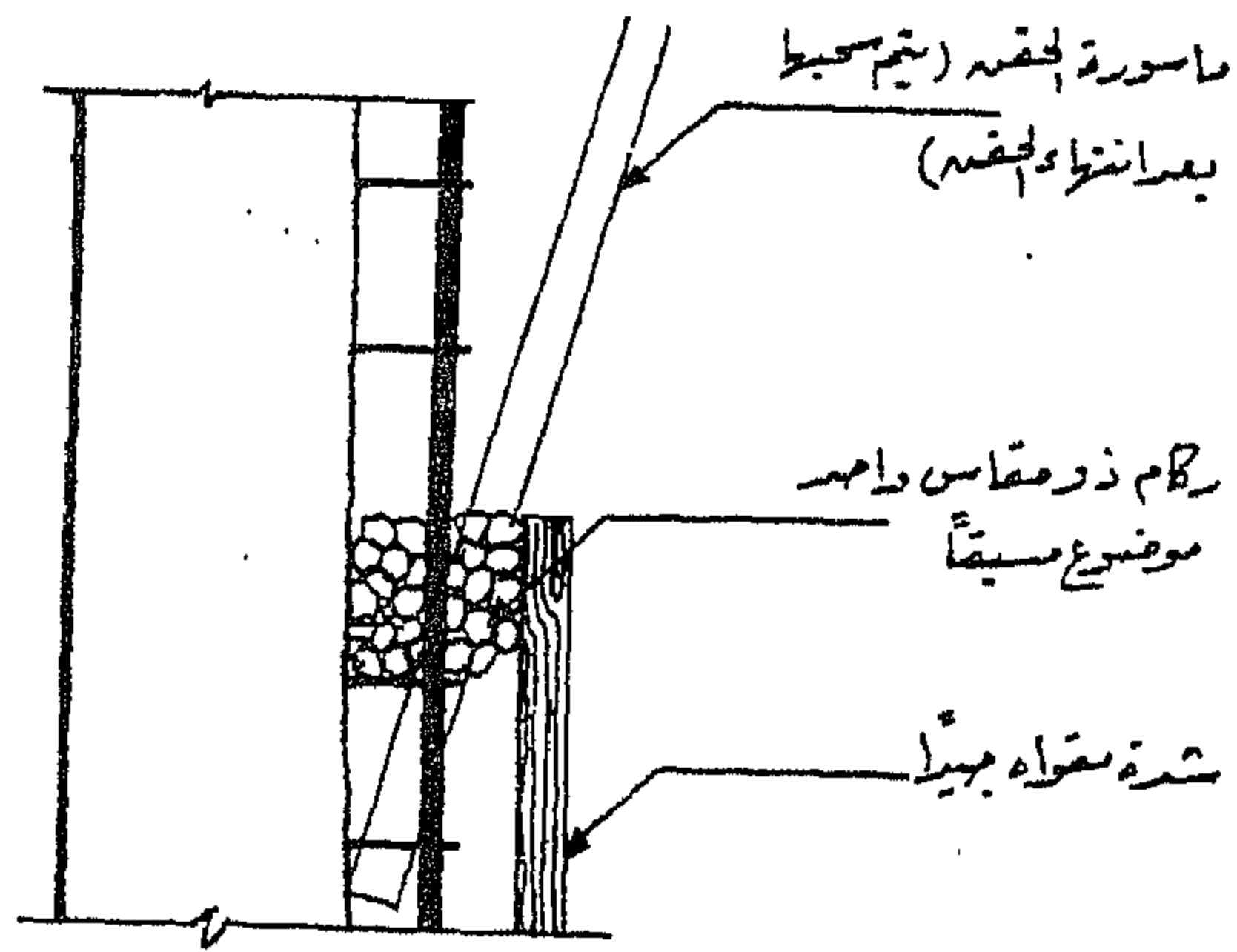
في بعض الأحيان تستخدم طريقة بديلة عن الصب العادي للخرسانة وهي طريقة الركام الموضوع مسبقاً ، ثم حقن المونة بعد ذلك ، وتستعمل هذه الطريقة في حالتين :

أ - الإصلاحات تحت الماء ، حيث يتم إزالة الخرسانة المعيبة ثم عمل الشدة وملئها بالركام تحت الماء ، وبعد ذلك يتم الحقن حيث تحمل مونة الحقن محل الماء الموجود داخل الشدة .

ب - تفادى انكماش الكتلة كلها (Bulk shrinkage) ، ورغم أنه يمكن التقليل من الانكماش في حالة الإصلاح باستخدام صب الخرسانة عن طريق التصميم الواعي للخلطة الخرسانية ولكنه لا يمكن التخلص من الانكماش كلية ، ولكن وضع الركام مسبقاً يمكن أن يمنع انكماش كتلة خرسانة الإصلاح لأن الركام الموضوع مسبقاً يملأ الفراغ الناشئ عن قلع وإزالة الخرسانة - كله - وعندما يحدث انكماش سيحدث في المونة الموجودة بين حبيبات الركام دون أن تتحرك هذه الحبيبات ويظل الفراغ مملوءاً تماماً بخرسانة الإصلاح . وذلك ضروري في حالة استبدال خرسانة جزء من قطاع عامود بالكامل مثلاً - شكل (٤٥ / ٨) .



شكل (٨ / ٤٥) استبدال جزء من قطاع العمود بالكامل



شكل (٨ / ٤٦) أساسيات طريقة الإصلاح بالركام الموضوع مسبقاً

طريقة التنفيذ :

* يتم إعداد العضو الخرساني بنفس طريقة إعداده لصب الخرسانة - قسم (٥ / ٢ / ١) . (١)

* يمكن تبسيط الشدة حيث لا توجد حاجة لفتحات لإدخال الهزازات ، ولا لأقماع لصب الخرسانة ، وإنما هي ماسورة الحقن فقط التي ستدخل في الشدة ، ولكن من المفيد أن يكون هناك جزء شفاف في الشدة حتى يمكن ملاحظة عملية حقن المونة والتأكد من ملء الفراغات بين الركाम .

* في هذه الطريقة يستعمل زلط مقاس واحد (Single - sized) ، ويوضع داخل الشدة بحيث يملأ الفراغ تماما .

* يتم ضخ مونة الحقن Grout من أبعد نقطة من مكان دخول ماسورة الحقن ، ويتم الحقن بحيث تملأ المونة كل الفراغات بين الركام بينما يخرج الهواء - أو الماء - من القمة - شكل (٤٦ / ٨) .

ملاحظات :

١ - مقاس الركام الكبير يحدده حجم الفراغ ، فإذا كان حجم الفراغ كبيرا فيستعمل ركام مقاس ٢ سم ومونة حقن من الأسمنت والرمل ، أما إذا كان الفراغ صغيرا فيستعمل ركام مقاس ١ سم ويحقن بمونة أسمنتية صرفة أو أسمنت مع رماد خبث الأفران (PFA) - وهو ركام صناعي خفيف .

٢ - الإدماء - ظهور طبقة ضعيفة على السطح - وحدوث سدود أثناء الحقن يمكن أن تكونا مشكلتين عند الحقن ، والنجاح في التغلب عليهما يعتمد على الخبرة حتى الوصول إلى نتائج سليمة ، ولذا فلا بد مع عمل تجارب حقن أولا حتى يمكن تحديد حل المشاكل على الطبيعة في مثل هذا النوع من أعمال الإصلاح .

٣ - لا بد من الاستعانة بمقاول إصلاح متخصص في مثل هذه النوعية من الأعمال ، إلا إذا كانت أعمال الإصلاح ذات حجم صغير جدا .

٥ / ٣ - زيادة مساحة صلب التسليح :

في حالة الإصلاحات الإنشائية وعندما تقل مساحة صلب التسليح عن ٢٠ ٪ من

المساحة الأصلية - نتيجة الصدأ - فلا بد من وضع أسياخ مستقيمة أو مكسحة أو إضافة ألواح من الصلب لاستعاضة المساحة المفقودة ، وفي حالة تقوية الأعضاء الخرسانية غالبا ما يحتاج الأمر إلى زيادة مساحة صلب التسليح .

٥ / ٣ / ١ - إضافة أسياخ أو كانات :

أسياخ التسليح المضافة إما أن تكون في داخل القطاع الأصلي ، حيث يتم وضعها بعد إزالة الخرسانة المعيبة وتنظيف الحديد من الصدأ - شكل (٨ / ٢٧) - أو توضع في خارج القطاع الأصلي داخل القميص ، في حالة الأعمدة أو الكمرات - شكل (٨ / ٦٦) - أو طبقة جديدة من الخرسانة ، في حالة البلاطات والحوائط - شكل (٨ / ٧٠) - وهذه الأسياخ لابد أن توصل بالأسياخ القديمة لمساعدتها في نقل الحمل إذا كانت إضافة لصلب التسليح الرئيسى ، في حالة الكمرات أو البلاطات ، أما في حالة الأعمدة والحوائط فيكفى وجود تماسك بينها وبين الخرسانة الجديدة .

وزيادة تسليح القص يتم غالبا بزيادة الكانات إما داخل القطاع الأصلي - بعد إزالة خرسانة الغطاء - ويتم تثبيتها في صلب التسليح الأصلي أو خارج القطاع الأصلي في قمصان حيث يوجد احتمالان : أولهما : أن يغلف القميص القطاع الأصلي كله ، وفي هذه الحالة لا يتم ربط الكانات إلا في الحديد الطولى الإضافى ، أو لا يغلف القميص القطاع من كل الجهات - كما في حالة الكمرات أو قمصان الأعمدة من جهة واحدة أو جهتين - وفي هذه الحالة يستحسن ربط الكانات المستجدة في القطاع الأصلي عن طريق لحامها في صلب التسليح أو إمرارها في فجوات في الخرسانة الأصلية - انظر شكل (٨ / ٦٦) .

أما زيادة تسليح القص بإضافة حديد مكسح فغالبا ما يكون عند استخدام القمصان في إصلاح الكمرات ، وفي هذه الحالة لا يلزم تثبيت الحديد الإضافى في الحديد الأصلي .

وتثبت أسياخ التسليح المضافة بأخذ إحدى صور أربعة - جدول (٨ / ٦) - :

أ - الركوب Overlapping :

وهى أسهل طرق نقل القوى من أسياخ التسليح الأصلية والمضافة ، ولا تقل مسافة

الطريقة					زيادة مساحة صلب التسليح	
الركب Overlapping	الوصل Splicing	اللحام Welding	التثبيت Anchoring	اللتصق gluying	التسليح الرئيسي	إضافة أسياخ صلب إضافة ألواح صلب
×	×	×	×	-		
-	-	×	×	×	تسليح القصر	إضافة أسياخ مائلة إضافة كانات إضافة ألواح صلب
×	-	×	×	×		

جدول (٦ / ٨) - الطرق المستخدمة لزيادة صلب التسليح

الركوب عن ٤٠ مرة قطر السيخ - شكل (٢٧ / ٨) .

ب - الوصل Splicing :

وتتم بوصل نهاية السيخ الأصلي ببداية السيخ الإضافي كجلبة Socket ، أو أبزيم دوار turn buckle .

ج - اللحام Welding :

وهي من أكثر الطرق استخداما في وصل الأسياخ الجديدة بالقديم ، ولكن يراعى عدم لحام الصلب على المقاومة إلا في نقاط محددة ؛ لأن الحرارة العالية تفقده خواصه ويتحول إلى صلب عادى .

د - التثبيت Anchoring :

حيث تثبت نهايات الأسياخ المضافة في الخرسانة بمسامير تثبيت من الصلب في أماكن تختار حسب كل حالة بواسطة الاستشارى .

٥ / ٣ / ٢ - إضافة ألواح الصلب :

وكبديل عن إضافة أسياخ أو كانات يمكن إضافة ألواح من الصلب تثبت على

السطح الخارجى للخرسانة ، وذلك فى حالة الرغبة فى تقوية القطاع الخرسانى مع عدم وجود صدأ فى صلب التسليح ، وقد يتم تثبيت هذه الألواح بمسامير من الصلب تدفن فى فجوات فى الخرسانة ، ثم تملأ الفجوات بمادة لاحمة قوية أو يتم لحام هذه الألواح فى صلب التسليح الأسمى بعد إزالة الغطاء الخرسانى ، ولكن الطريقة المستعملة غالباً هى طريقة لصق هذه الألواح على السطح الخارجى للعضو المراد تقويته بواسطة المونة الإيبوكسية ، وهناك عدة اعتبارات لابد أن تراعى حتى تنجح هذه الطريقة فى التقوية :

١ - قوة التصاق الألواح بالخرسانة يجب أن تفوق مقاومة الخرسانة للقص ، أى أنه لابد أن يكون التضايق المونة الإيبوكسية بكل من الخرسانة وألواح الصلب ممتازاً .

٢ - يجب أن يكون سمك طبقة المونة أقل ما يمكن .

٣ - يستحسن أن تكون إجهادات التماسك موزعة بانتظام على مساحة الالتصاق - كلها - وللوصول إلى هذه النتيجة يفضل استعمال الألواح العريضة قليلة السمك حيث تعطى نتائج أفضل .

٤ - يفضل استعمال مسامير من الصلب على مسافات معقولة للمساهمة فى تثبيت الألواح لتعويض النقص فى قوة التماسك بعد فترة طويلة ، ولتلافى خطر فقد الالتصاق عند ارتفاع درجة الحرارة إلى أكثر من ١٠٠ م - فى حالة الحريق مثلاً .

٥ - يستحسن حماية سطح ألواح الصلب من الصدأ عن طريق دهانها بمواد حامية - انظر قسم (١ / ٥) من الباب السابع .

٦ - أفضل نتائج الالتصاق يتم الحصول عليها إذا كان سطح الخرسانة جافاً ودرجة الحرارة المحيطة لا تقل عن ٨° م .

طريقة لصق الألواح :

* يجب أن يكون سطح الخرسانة نظيفاً - ينظف باستعمال الرمال المندفوعة - وجافاً وإذا جودة عالية - خرسانة جيدة .

* يتم تثبيت مسامير الصلب فى الفجوات المخصصة لها .

* يدهن سطح الخرسانة بطبقة رقيقة من راتنجات الإيبوكسى .

* بعد دهان الألواح أو معالجتها بحيث تصبح مقاومة للصدأ توضع الألواح فى الأماكن

المحددة ، وتثبت في مسامير الصلب بقلاووظ خاص بحيث تضغط على سطح الخرسانة .

« بعد تمام تصلد طبقة التماسك يتم إجراء اختبار سلامة أو نقص قوة الالتصاق للتأكد من التصاق كل مساحة التماسك التصاقا تاما .

وقد أثبتت التجارب ^(١٩) أن الكمرات الخرسانية المقواة بألواح صلب خارجية ، سواء المعرضة للشد أو للقص ، تتصرف كالأعضاء الخرسانية العادية ذات مساحة صلب التسليح الإضافية ، سواء تحت تأثير الأحمال الاستاتيكية أو الأحمال المتكررة حتى الكلال Fatigue loads - انظر أشكال (٧٥ / ٨) إلى (٧٧ / ٨) .

٦ - إصلاح وتقوية الأعضاء الخرسانية

٦ / ١ - اعتبارات عامة :

أ - الإصلاح :

إن إصلاح الأعضاء الخرسانية عادة ما يكون عن طريقين : إما إضافة مادة جديدة ؛ لقطاع الخرسانة الأصلي - أى زيادة حجمه - أو إزالة جزء من المادة الأصلية المعيبة واستبدالها بمادة جديدة ، وسواء فى حالة الإضافة أو الاستبدال فإن الإصلاح يتضمن وضع المادة الجديدة بإحدى طرق ثلاثة :

١ - النمب - فى شدة تثبت على العضو الأصلي .

٢ - الرش - بمعدات خاصة .

٣ - البياض - وهو وضع المادة الجديدة باليد .

ولابد من دراسة تأثير هذه المادة الجديدة على أداء الأعضاء الخرسانية وبالذات فى حالة الإصلاحات الإنشائية التى تهدف إلى استرداد مقاومة العضو للأحمال أو استرداد جساأته .

ب - التقوية :

أما تقوية الأعضاء الخرسانية ليمكنها تحمل أحمال أكبر ، فرغم أنه قد يشمل كثيرا من الطرق المستخدمة فى الإصلاح فإن الفرق الأساسى أن الأحمال الجديدة سيبدأ تأثيرها بعد أعمال التقوية ، أما فى حالة الإصلاح فإن الأحمال موجودة قبل أعمال الإصلاحات الإنشائية وفى هذا فرق كبير .

٦ / ١ / ١ - اعتبارات إنشائية :

عندما يحدث تدهور فى خرسانة الأعضاء الإنشائية مثل حالة الصدأ الخطير أو النقص الكبير فى مقاومة الخرسانة أو الحريق أو الهبوط غير المتكافئ ، فإن أول خطوة فى برنامج الإصلاح هى تقدير تأثير هذا التدهور على قدرة الأعضاء الإنشائية - والمنشأ ككل - على مقاومة الأحمال والإجهادات الواقعة عليها ، ويتم ذلك بعمل الاختبارات غير المتلفة

– انظر الباب الثالث – وعمل الحسابات الإنشائية اللازمة المبنية على نتائج التجارب الحقلية ، فإذا ظهرت الحاجة إلى إصلاح عضو أو أكثر لاسترداد قدرته على مقاومة الأحمال ، فإن هناك نقطتين مهمتين يجب أخذهما في الاعتبار :

أ – إزالة الحمل :

في حالة الإصلاح : ما لم يتم إزالة الحمل من العضو المراد إصلاحه ، فإن العضو الأصلي سيستمر محملاً بالأحمال الآتية :

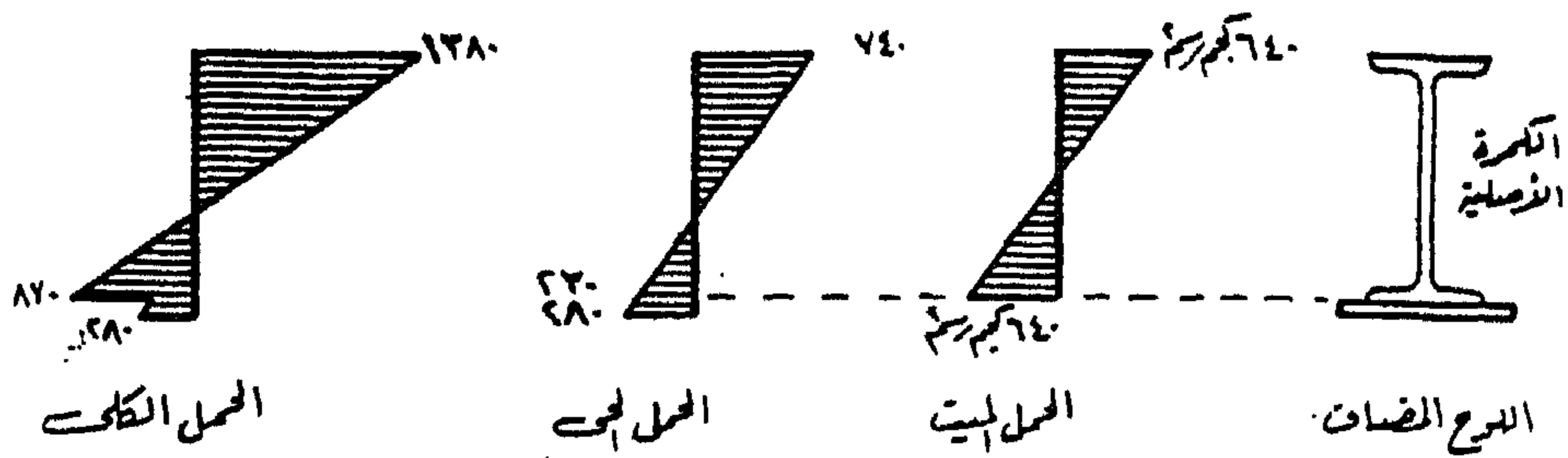
١ – كل الحمل الميت .

٢ – الجزء من الحمل الحي الموجود قبل عمل الإصلاح أو إضافة أعضاء التقوية .

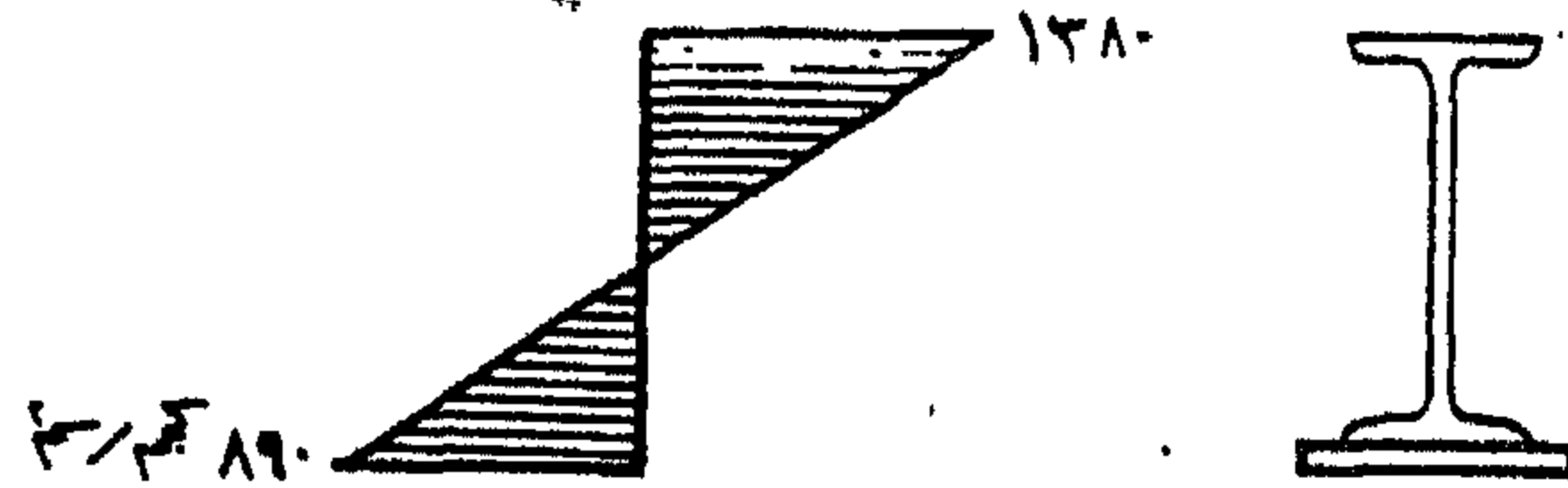
٣ – نسبة من الحمل الحي الذي سيضاف بعد ذلك ، وهذه النسبة تتناسب مع جساءة العضو الأصلي إلى جساءة الإصلاح أو الأعضاء المضافة للتقوية .

ولن يساهم الإصلاح أو الأعضاء الجديدة إلا في حمل جزء من الأحمال المضافة بعد الإصلاح ، وإزالة الحمل من الأعضاء المطلوب إصلاحها يتم عن طريق إزالة الأحمال والإنشاءات التي يحملها العضو – إن كان ذلك ممكناً – أو عن طريق نقل الحمل بالروافع الهيدروليكية أو بالطرق اليدوية إلى دعائم مؤقتة ، أما صلب العضو بوضع دعائم مؤقتة تحت الأعضاء التي يحملها وهو ما يسمى بالتكيس فلا يكفي لنقل الحمل – راجع قسم (٦ / ١ / ٢) بالنسبة لطرق إزالة الأحمال أو تخفيضها .

أما إذا تمت أعمال الإصلاح بدون إزالة الحمل فإن الإجهادات نتيجة حالة التحميل النهائية – بعد الإصلاح – ستفاوت كثيراً بين العضو الأصلي والأجزاء المضافة له ، وكمثال لذلك فلو فرضنا أن نسبة الحمل الحي إلى الحمل الميت (١ : ١) ، ونسبة المادة الأصلية إلى مادة الإصلاح المضافة في القطاع العرضي هي (١ : ١) كذلك ، وبدون النظر إلى اعتبارات اختلاف معايير للمرونة أو الزحف أو التشكل اللدن ، فإن الإجهادات في المادة الأصلية ستكون ثلاثة أضعاف الإجهادات في المادة المضافة ، وكمثال آخر فإن الإجهادات في لوح من الصلب مضاف لتقوية كمرة على شكل حرف (I) ستكون ضئيلة إذا لم يتم إزالة الحمل الميت قبل إضافتها – شكل (٨ / ٤٧ / أ) – أما في حالة الرفع الهيدروليكي للكمرة وتدعيمها قبل لحام اللوح فإن القطاع الجديد يعمل كله ، وتكون الإجهادات فيه متجانسة – شكل (٨ / ٤٧ / ب) .



١- إضافة اللوح بدون إزالة الحمل الميت



ب- إضافة اللوح بعد إزالة الحمل الميت (رفع الكمرة وتدعيمها).

شكل (٨ / ٤٧) تأثير إزالة الحمل الميت على توزيع الإجهادات في الكمرة الأصلية والجزء المضاف .

وكتيجة لهذا فإن المادة الجديدة لن يمكن تحميلها بالإجهادات التي تستطيع تحملها بدون تحميل المادة الأصلية فوق طاقتها في نفس الوقت ، ولذا فإن استخدام المادة المضافة يصبح غير اقتصادي ، لأنه لا يتم إجهادها إلا بنسبة بسيطة مما تستطيع تحمله ، ولتصحيح هذا الوضع يوصى برفع الحمل - الميت والحى - من على العضو الخرساني قبل إصلاحه باستعمال الوسائل اليدوية أو الهيدروليكية والدعامات المؤقتة ، ثم تنفيذ الإصلاحات أو إضافة أعضاء جديدة ، وبهذا يتوزع الحمل كله بين الأجزاء الأصلية والمضافة ، ولا يكون تركيز الإجهادات في الأجزاء الأصلية فقط ، ومن الأمثلة المتكررة إصلاح الأعمدة باستخدام القمصان من الخرسانة المسلحة بدون إزالة حمل العامود أولاً ، ففي هذه الحالة لن يشارك القميص إلا في حمل جزء من الأحمال التي ستضاف للمنشأ بعد عملية الإصلاح .

في حالة التقوية : أما في حالات التقوية - زيادة قدرة الأعضاء الخرسانية على تحمل أحمال جديدة - فلا يصبح من الضروري إزالة الحمل الأصلي ؛ لأن الأجزاء المطلوبة للتقوية يتم إضافتها قبل وضع الأحمال الجديدة - تعلية مبنى أو تغيير استخدام الأسقف .. إلخ - ويستثنى من ذلك حالات التقوية بإضافة قاعدة جديدة تحت القديمة مثلاً ، حيث يلزم رفع الحمل على قواعد مؤقتة أثناء أعمال التقوية - شكل (٨ / ٥٠) ، (٨ / ٥١) .

ب - المشاركة فى حمل الأحمال :

إن نسبة الأحمال التى تذهب إلى الأعضاء الجديدة ، وتلك التى تحملها الأعضاء الأصلية أو نسب الأحمال فى الأجزاء الأصلية أو المضافة فى العضو الواحد ، تعتمد على قاعدة تساوى التشكل Equating deformations ، أى أن الجزء من الأوزان الذى يحمله كل عضو أو جزء من عضو يعتمد على جسامته ، أى أن قدرة الإصلاح على تحمل الأحمال لا يعتمد فقط على قوته - مقاومة الضغط أو الشد - وإنما يعتمد كذلك على معايير مرونة وعلى قوة التصاق الخرسانة الجديدة بالقديمة ، فمثلا استخدام مادة الإصلاح ذات معايير مرونة منخفض يعنى أنه لابد من حدوث تشكل أكبر حتى تتولد الإجهادات اللازمة فى مادة الإصلاح ، وحتى لو استخدمت الخرسانة كمادة إصلاح فإن زحف الخرسانة الجديدة سيكون أكبر من زحف الخرسانة الأصلية التى قد يكون عمرها عدة سنوات ، وزيادة الزحف يعنى استخدام معايير مرونة منخفض عند حساب نسبة الحمل الذى سيعمل على الجزء المملوء بمادة الإصلاح .

وبالإضافة إلى تأثير معايير مرونة مادة الإصلاح ، فإن الانكماش والزحف الخاص بها يؤثر كذلك على مشاركة الإصلاح فى تحمل الأحمال الواقعة على العضو الذى تم إصلاحه ، فزحف الخرسانة الجديدة المستعملة فى الإصلاح بالإضافة إلى أى انكماش يحدث لها سيؤدى إلى نقص نسبة الحمل الذى يذهب إلى الجزء المملوء بمادة الإصلاح وزيادة العبء على الجزء الأصلى ، رغم أن إجهادات التماسك تكون قد وجدت فعلا بين الخرسانة الأصلية والجديدة .

٦ / ١ / ٢ - طرق إزالة الحمل :

ظهر من المناقشة السابقة الحاجة إلى إزالة الحمل من على الأعضاء المطلوب إصلاحها قبل الشروع فى هذه الإصلاحات ، حتى يتم توزيع الحمل بين الأعضاء الأصلية والإصلاحات الجديدة بتجانس عندما تعاد الأحمال مرة ثانية ، وهناك عدة طرق لإزالة هذه الأحمال منها :

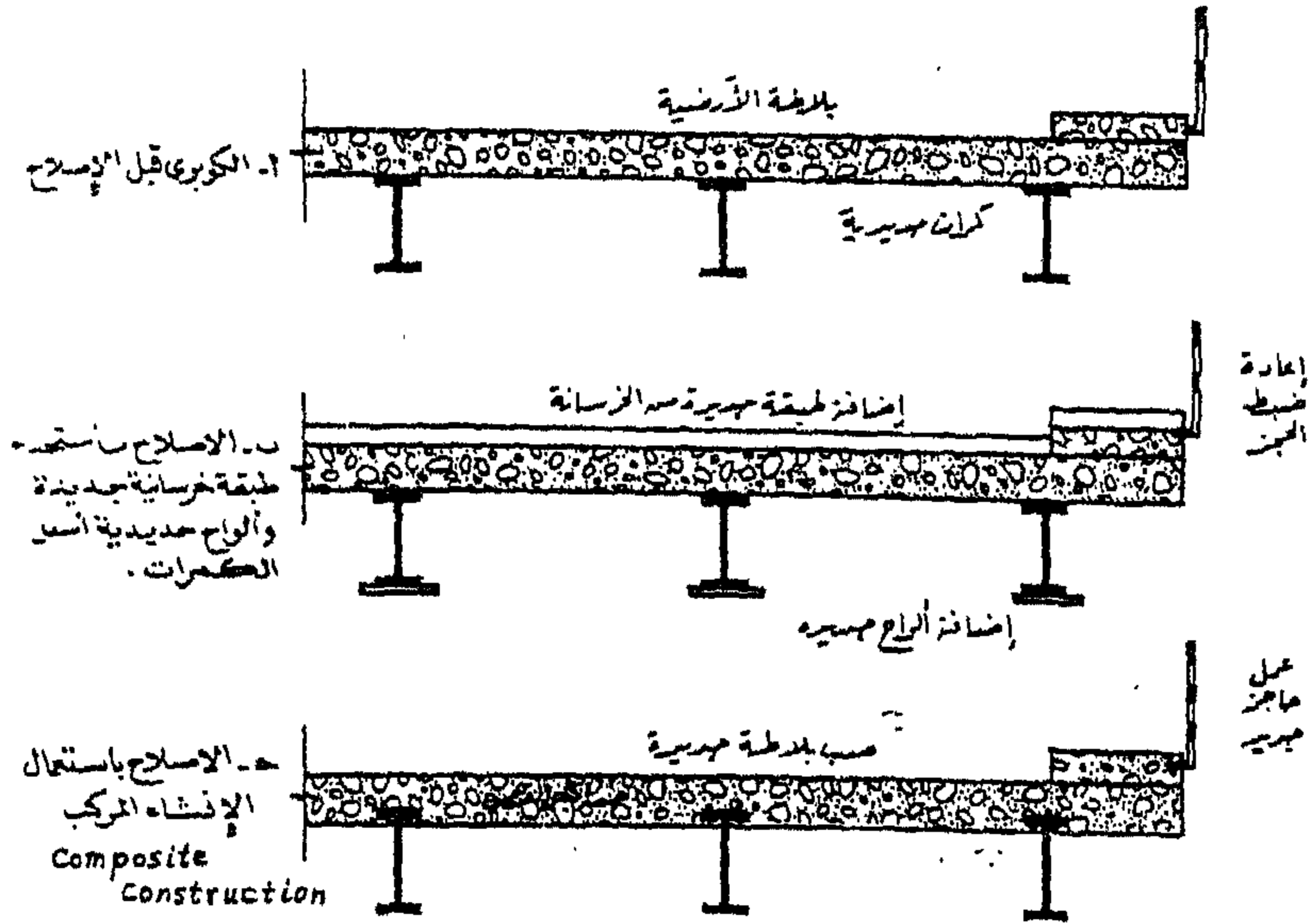
أ - إزالة الأجزاء التى تحملها العضو :

وهذه أبسط الطرق وأسهلها وأول ما يتبادر إلى الذهن وقد تكون - فى بعض

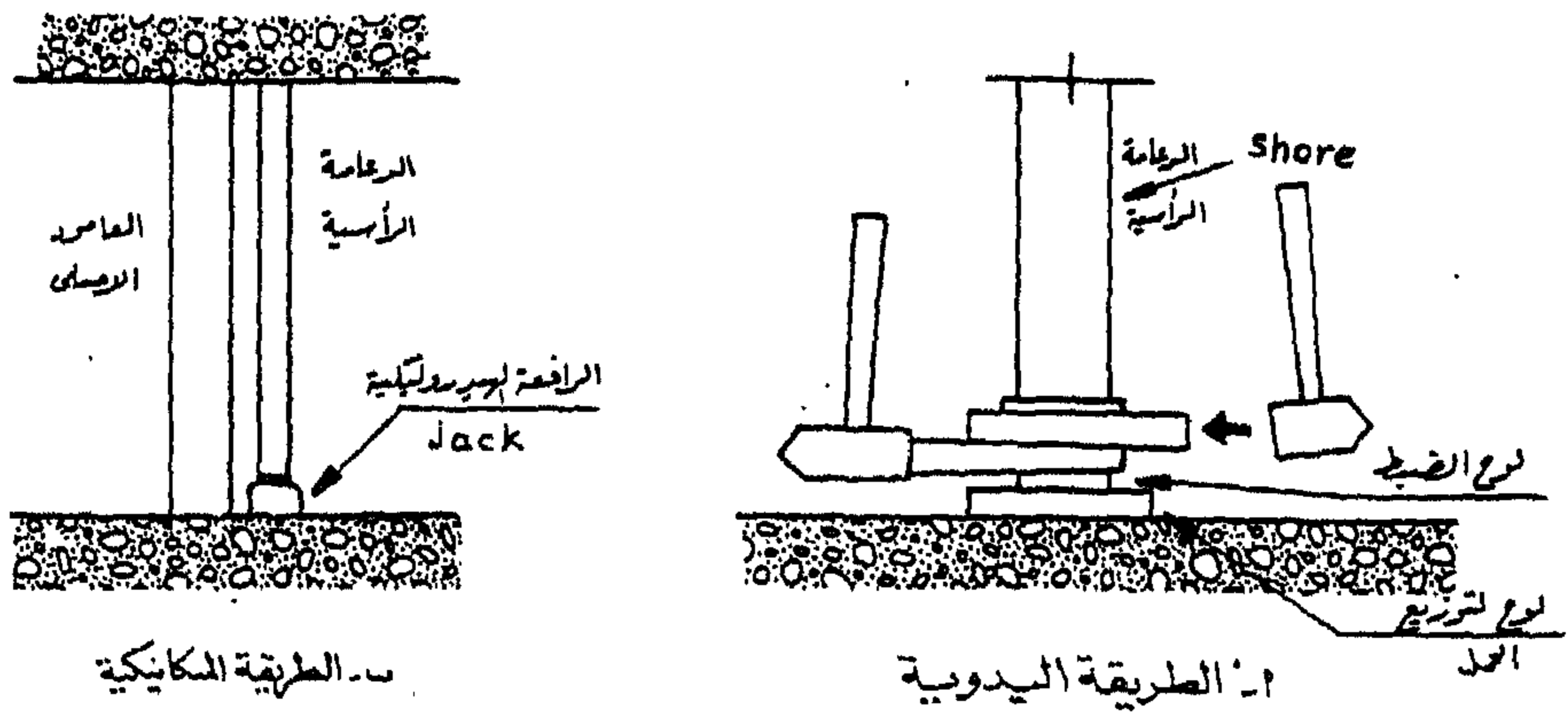
الأحوال - أفضل الحلول ، فمثلا نخذ حالة أرضية كوبرى عبارة عن بلاطة من الخرسانة المسلحة على كميرات حديدية - شكل (٨ / ٤٨ / أ) - وقد أصاب الصدأ صلب التسليح كما أصاب الكميرات الحديدية ، والحل الأول هو صب طبقة جديدة من الخرسانة أعلى البلاطة لزيادة عمقها ، مع إضافة ألواح حديدية أسفل الكميرات - شكل (٨ / ٤٨ / ب) - وهذا الحل تكلفته تتضمن تكلفة الطبقة الخرسانية الجديدة - شاملا إعداد سطح البلاطة الأصلية ، ودهانها بمواد لزيادة التماسك ، وصب الخرسانة الجديدة ، ورفع مستوى الرصيف ، وإعادة ضبط الحاجز - بالإضافة إلى تكلفة لحام الألواح الجديدة - متضمنا تكلفة رفع الحمل عن الكميرات الحديدية بالرافع الهيدروليكية والدعامات المؤقتة - وهناك حل آخر هو إزالة البلاطة الخرسانية وإضافة مسامير القص (Shear dowels) للكميرات الحديدية ، ثم إعادة صب البلاطة - شكل (٨ / ٤٨ / ج) - وبلاستفادة من الإنشاء المركب باعتبار البلاطة والكميرات قطاعا واحدا تمثل فيه البلاطة الشفة Flange وتمثل الكميرات الأعصاب Ribs قد لا تكون هناك حاجة للحام ألواح للكميرات ، وقد يحتاج الأمر إلى لحام ألواح أصغر من الحل الأول ويتم هذا بعد رفع الحمل - وزن البلاطة - بدون تكلفة إضافية ، وبمقارنة تكلفة هذا الحل بالحل الأول قد يصبح أوفر ، خاصة وأن وزن البلاطة والكميرات لن يزيد عن وزنها الأصلي كما فى الحل الأول مما لا يشكل وزنا جديدا على ركائز هذا الكوبرى ، كما أن عمل بلاطة جديدة من خرسانة كثيفة ذات جودة عالية يجعلها أكثر قدرة على التحمل مع الزمن عن إضافة طبقة جديدة للبلاطة القائمة .

ب - إزالة أحمال الأعضاء الخرسانية بالرفع والتدعيم الرأسى Shoring and jacking :

عندما تكون إزالة الأجزاء التى يحملها العضو غير عملية أو غير اقتصادية ، فإن إزالة الأحمال من على الأعضاء التى سيجرى إصلاحها يمكن أن يتم بتركيب الدعامات المؤقتة (Shores) ، واستخدام الروافع الهيدروليكية (Jacks) تحت الأجزاء المحمولة بالعضو الخرساني ، ورفع هذه الروافع بحيث ينتقل الحمل من هذه الأعضاء إلى الروافع والدعامات المؤقتة ، ويمكن نقل الأحمال إلى الدعامات المؤقتة يدويا باستخدام الخواير - شكل (٨ / ٤٩) .



شكل (٨ / ٤٨) بدائل إصلاح كوبرى من الخرسانة على كمرات حديدية



شكل (٨ / ٤٩) طرق إزالة حمل عمود خرساني

٦ / ٢ - إصلاح وتقوية الأساسات :

٦ / ٢ / ١ - الأساسات السطحية :

٦ / ٢ / ١ / ١ - إصلاح الشروخ :

وشروخ الأساسات، إما أن تكون بسبب صدأ الحديد ، وإما بسبب فروق الهبوط ، وشروخ صدأ الحديد ، تنتشر في الأساسات نتيجة وجود المياه الجوفية التي توفر جوارحاً حول الأساسات باستمرار ، كما قد تؤدي إلى تعرضها لهجوم الكبريتات إذا كانت نسبة هذه الكبريتات في المياه الجوفية عالية - وإصلاح شروخ صدأ الحديد سبق توضيحه في قسم (٤ / ٦) - وفروق الهبوط قد يحدث نتيجة لأحمال جديدة غير موزعة بانتظام أو نتيجة عدم تجانس التربة تحت المبنى أو نتيجة حفر مبنى مجاور أو نتيجة سحب المياه بشدة من موقع مجاور ، والإصلاح المطلوب في هذه الحالة إما أن يقتصر على إصلاح الميدات الرابطة أو يحتاج إلى تدعيم الأساسات بصفة عامة ، والإصلاح الإنشائي للميدات يتبع نفس الخطوط العامة لإصلاح الكمرات وخاصة إصلاح شروخ القص كما سيأتي في قسم (٦ / ٤ / ٤) ، أما تدعيم الأساسات فسنتناوله بالتفصيل في هذا القسم ، ولا بد بعد هذا التدعيم من سد الشروخ الظاهرة لمنع تدهور الخرسانة مستقبلاً - راجع قسم (٤ / ٥) .

٦ / ٢ / ١ / ٢ - تدعيم الأساسات :

وقد تطورت عمليات تدعيم الأساسات لتصبح فناً قائماً بذاته ، وهناك العديد من المؤلفات التي تغطي هذا الموضوع (٢٠) ، وسيقتصر تناول الموضوع هنا على الأسس العامة وشرح لبعض طرق التدعيم بدون الدخول في تفاصيل العمل ، ويختلف أسلوب التدعيم باختلاف نوع الأساس ، فتدعيم اللبشة يكاد يقتصر على زيادة عمقها ، أما تدعيم الأساسات المنفصلة فيأخذ صوراً عدة :

أ - زيادة مساحة التحميل على الأرض :

ويتم ذلك بعمل كتلة من الخرسانة المسلحة أو لمعادية تحت القاعدة ، وغالباً ما يحتاج الأمر إلى تخفيض أو إزالة حمل القاعدة قبل إصلاحها - كما هو مبين في شكل (٨ / ٥٠) ، شكل (٨ / ٥١) - ويمكن ربط الكتل الخرسانية الجديدة بشبكة من الميدات للوصول إلى هبوط متكافئ ، وهذه الطريقة موضحة في شكل (٨ / ٥٢ / ب) .

ب - زيادة مساحة القواعد المنفصلة :

ومن الممكن زيادة مساحة القاعدة نفسها بدور الحفر أسفلها ، وهى طريقة أقل تكلفة وأقل خطورة من الأولى - كما هو مبين فى شكل (٨ / ٥٢ / ج) - ولكن لابد من الأخذ فى الاعتبار أن عمل قميص للقاعدة القديمة - كما هو مبين - سيؤدى إلى تولد قوى قص كبيرة عند اتصال الخرسانة القديمة بالخرسانة الجديدة عندما يحدث هبوط للقاعدة المركبة تحت تأثير الحمل الجديد ، ولذا فإن أسطح الاتصال يجب أن تتشن جيداً وتزود بمسامير قص Shear dowels كافية لنقل قوى قص أكبر من تلك الناتجة من حاصل ضرب جهد التربة تحت القاعدة المركبة فى مساحة القطاع المضاف ، كما يستحسن لحام الحديد الأصيل بعد فرده واستعداله فى الحديد المضاف لزيادة المقاومة للقص .

أما إذا كان المقصود من عمل القميص للقاعدة القديمة زيادة عمقها لتعويض النقص الناشئ فى مساحة صلب التسليح نتيجة الصدأ ، فإن قوى القص بين القطاع الجديد والقديم لن تكون كبيرة ، ويمكن الاكتفاء بدهان سطح الاتصال بمادة تزيد تماسك الخرسانة الجديدة بالقديمة .

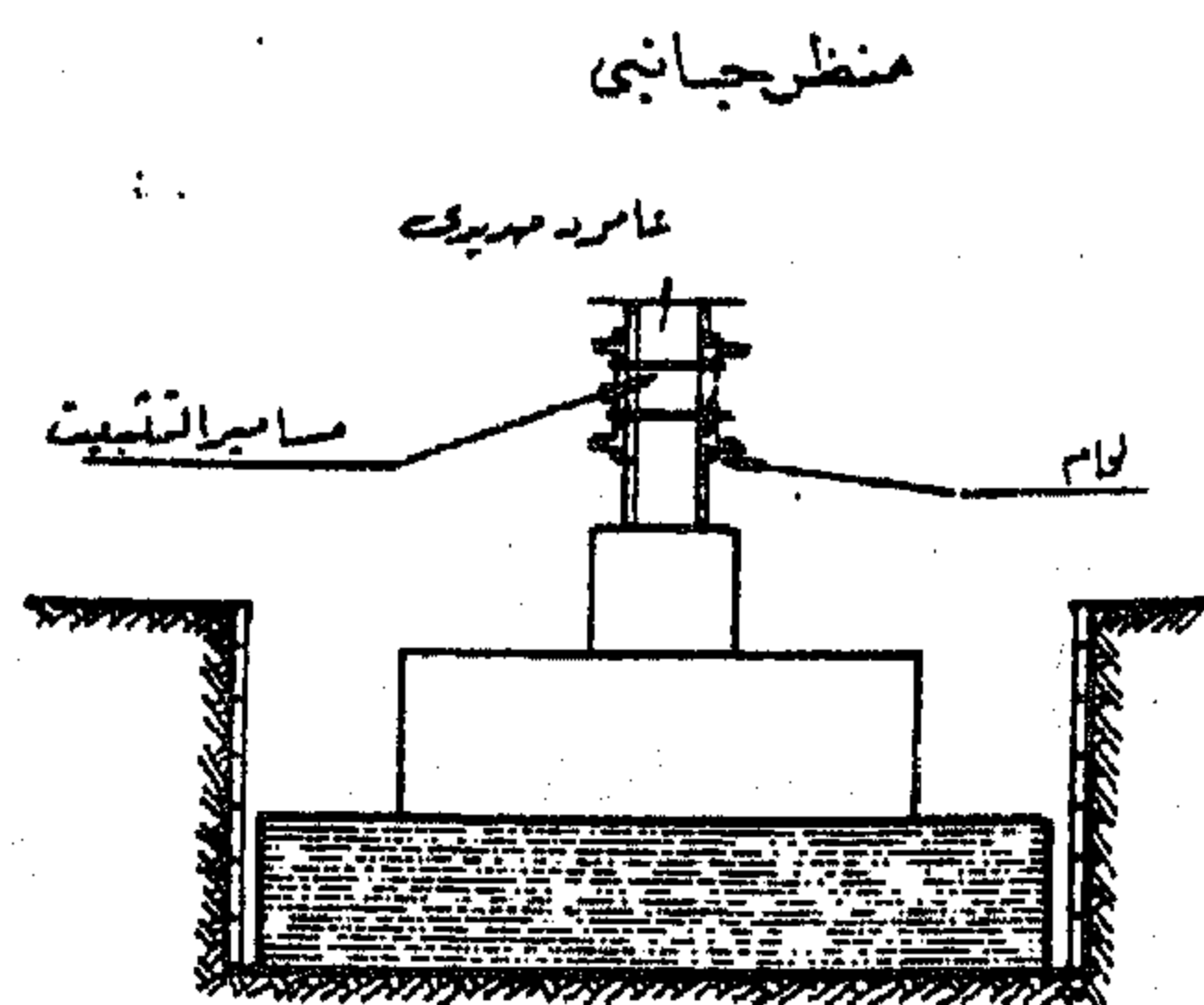
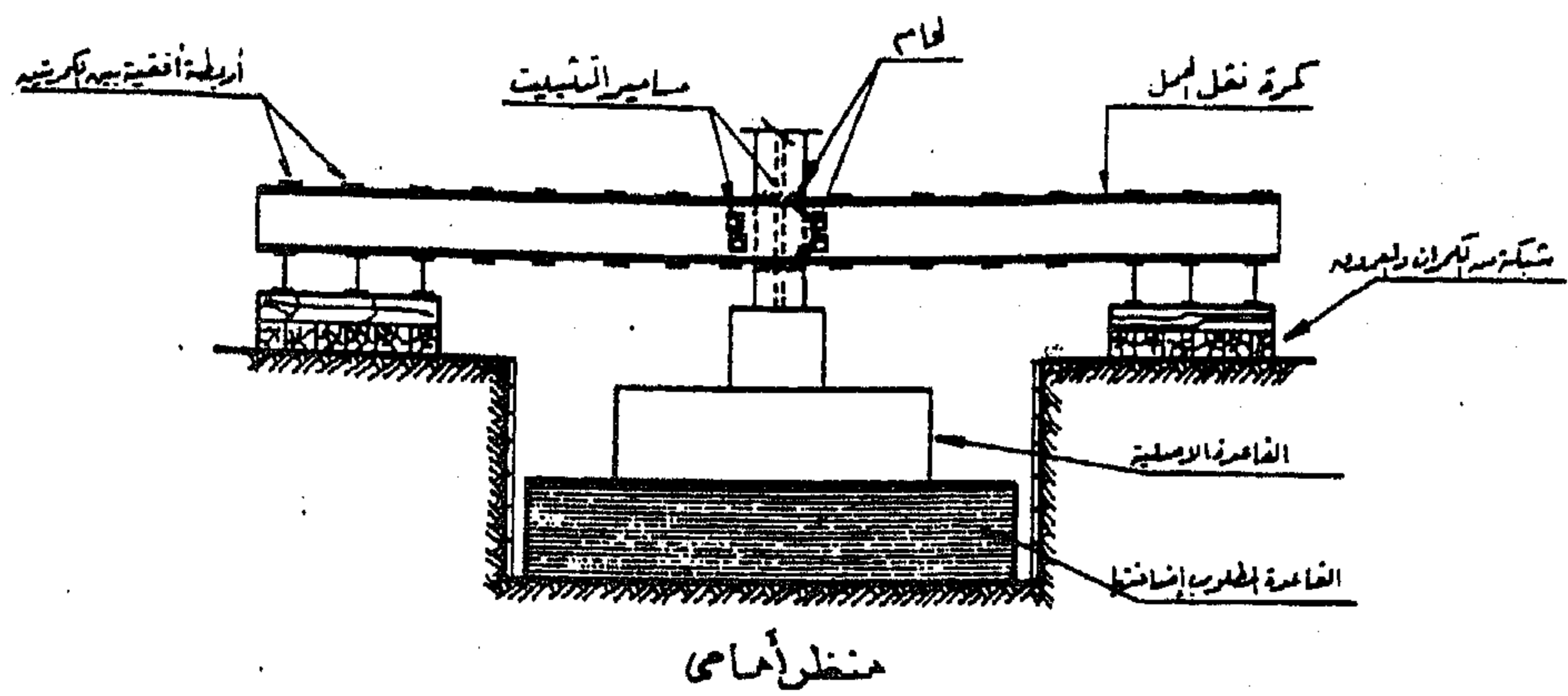
ج - ربط قاعدتين منفصلتين أو أكثر لعمل قاعدة شريطية :

كما هو موضح فى شكل (٨ / ٥٣) فإن عمل القاعدة الشريطية يكون فى جزء منه مماثل لعمل قمصان للقواعد الأصلية ، وفى الجزء الموجود بين القاعدتين يأخذ شكل القاعدة الشريطية العادية ، ومن المشاكل التى تصادف المصمم فى هذه الحالات ما يلى :

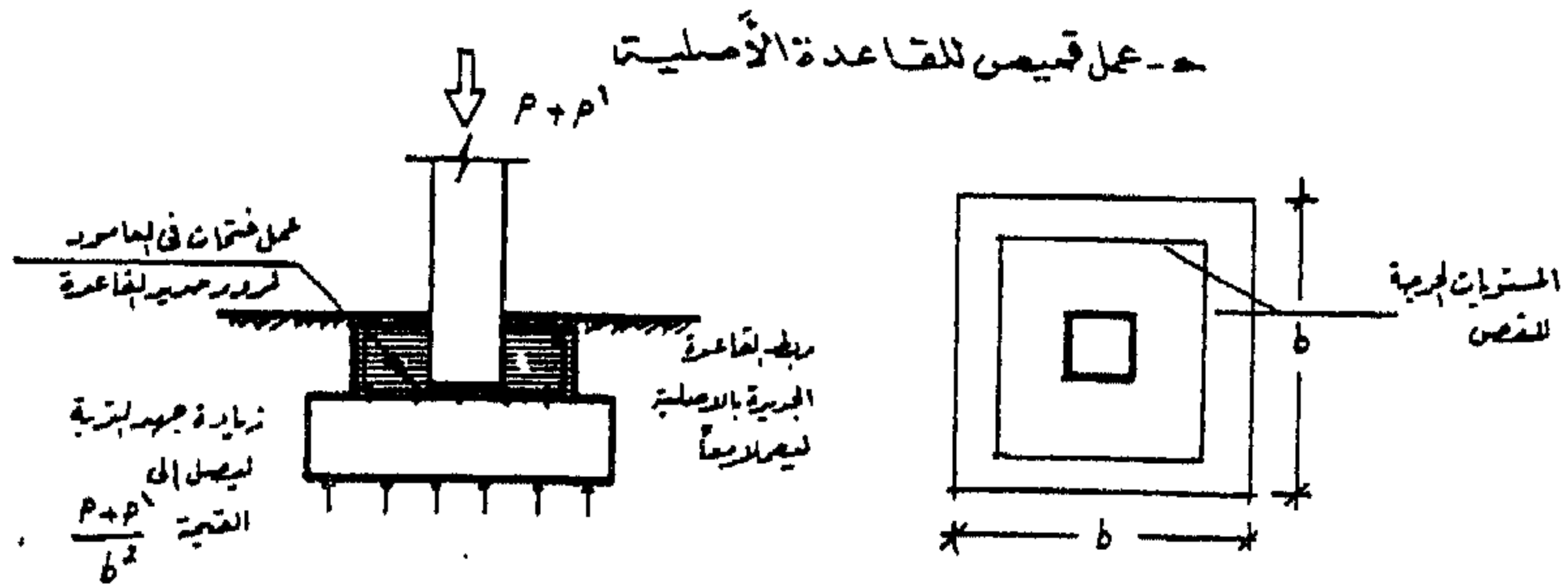
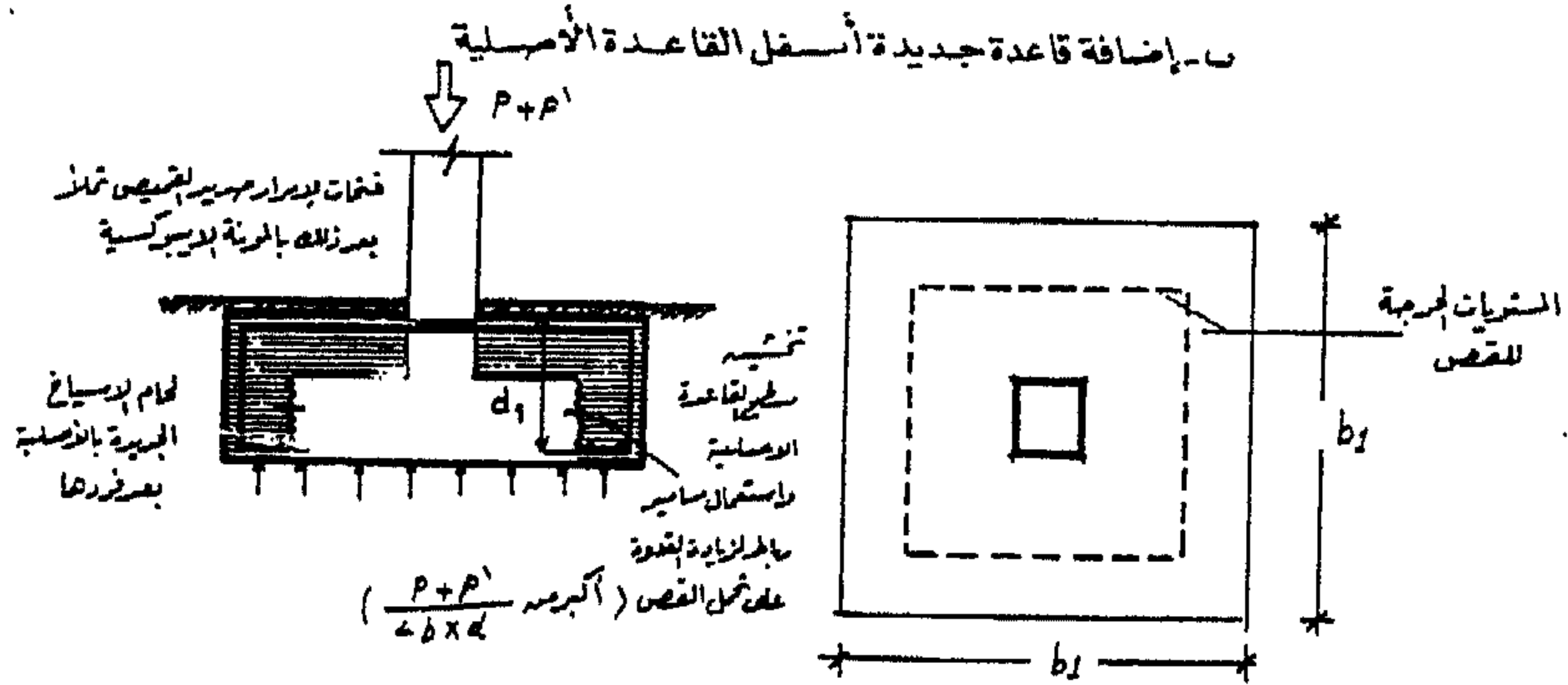
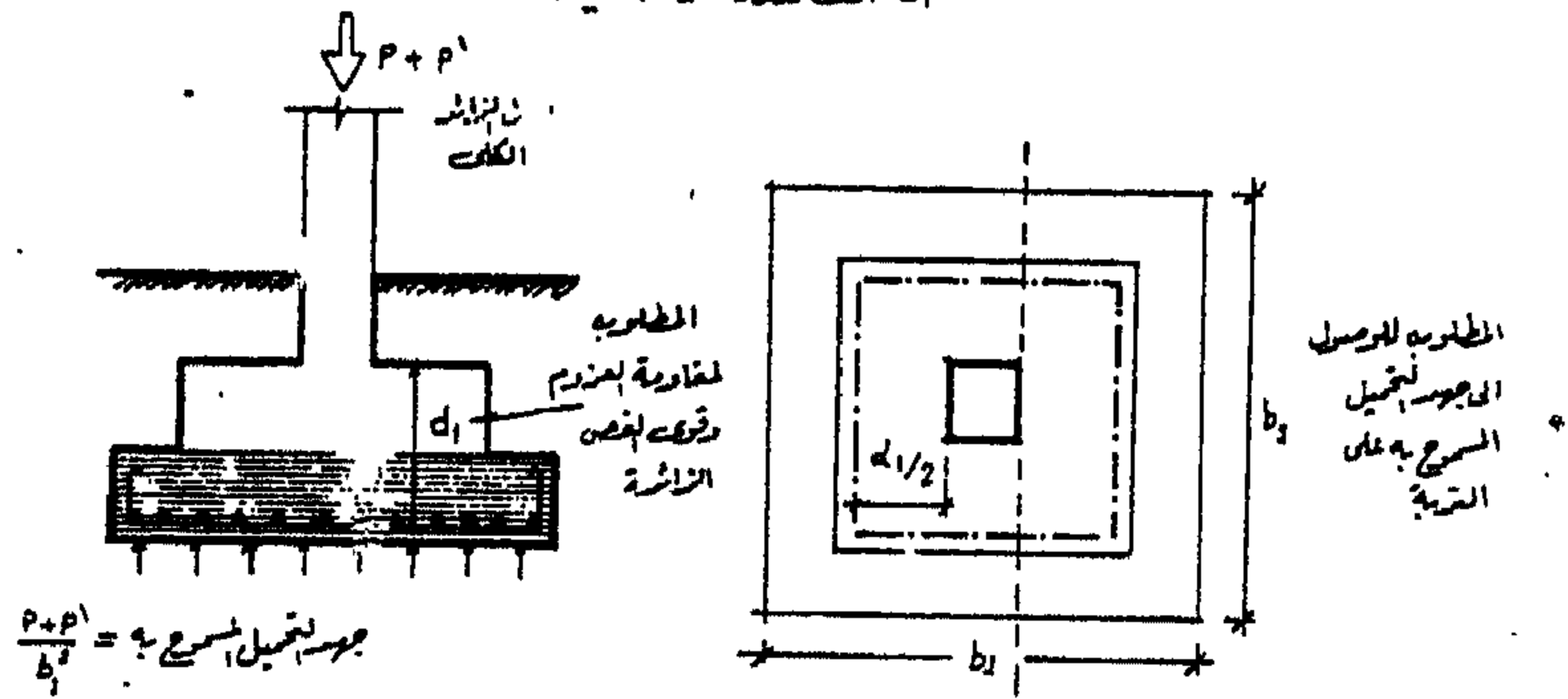
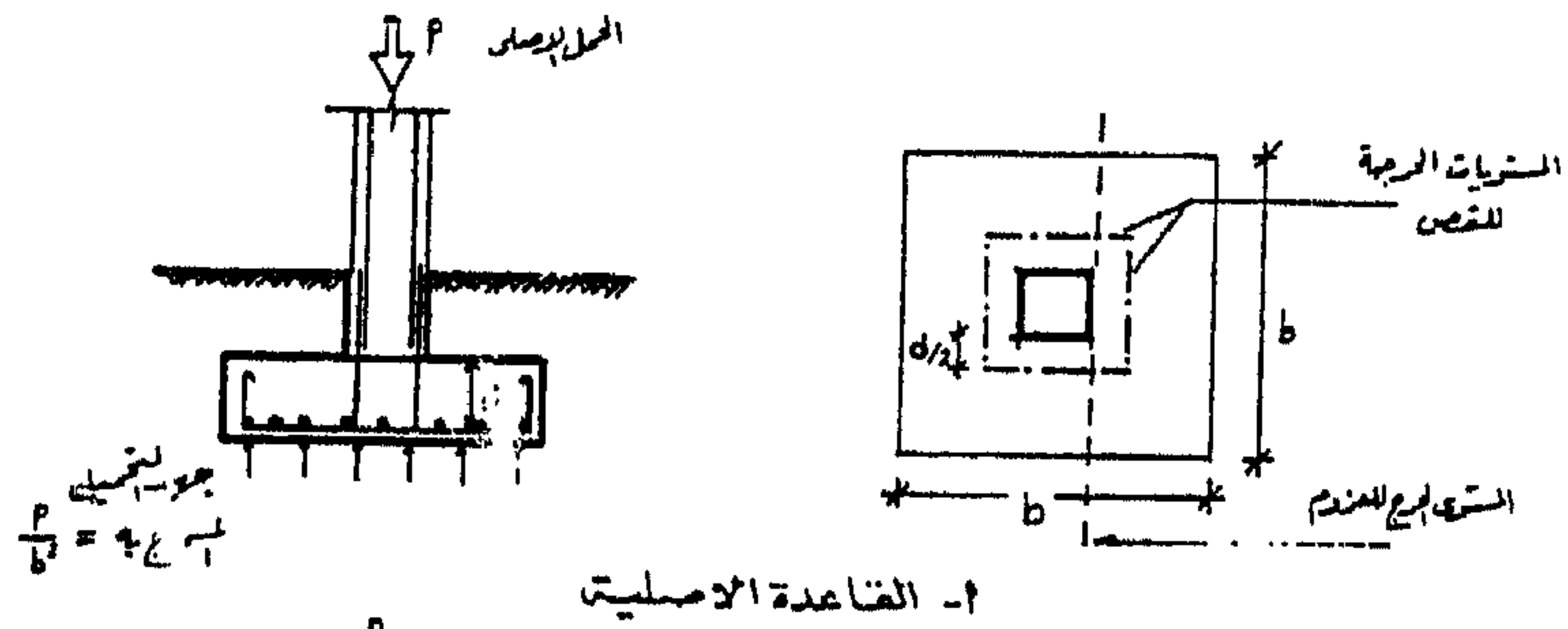
١ - اختلاف سمك الخرسانة العادية والمسلحة للقواعد مما يجعل صلب التسليح بها ليس فى مستوى أفقى واحد - ويمكن فى هذه الحالة عمل ميل خفيف فى الخرسانة العادية التى تصب بين القاعدتين مع تكسير الخرسانة العادية القديمة بميل لزيادة الرباط .

٢ - عدم وجود القواعد على خط واحد - وفى هذه الحالة يمكن زيادة عرض القاعدة الشريطية أو ربط كل مجموعة على خط واحد تقريباً بقاعدة شريطية .

٣ - ضرورة إضافة تسليح علوى فى منتصف البحر بين الأعمدة لمقاومة العزوم السالبة الناشئة فى القاعدة الشريطية - ويوصى بعمل ثقوب فى الأعمدة لإمرار التسليح العلوى ، يملأ بعد ذلك بمونة مناسبة .



شكل (٨ / ٥١) إزالة الحمل عن طريق الكمرات الأفقية



شكل (٨ / ٥٢) طرق زيادة قدرة التحمل لقاعدة منفصلة

د - تحويل القواعد المنفصلة إلى لبشة مسلحة :

وخاصة إذا كانت القواعد المنفصلة المسلحة على لبشة من الخرسانة العادية ، ويتم حساب السمك والتسليح اللازمين لللبشة بالطريقة المعتادة ، ويجرى لحام الأسياخ الجديدة بالقديم لزيادة الترابط - شكل (٨ / ٥٤) - كما يلزم ربط السطح الرأسى للقواعد الأصلية بالخرسانة الجديدة بمسامير لمقاومة القص - كما فى حالة القمصان .

هـ - وقف صدأ صلب التسليح :

من الممكن وقف صدأ صلب التسليح عن طريق الحماية الكهربائية له - انظر قسم (٤ / ٦) - وإن كانت هذه الطريقة مكلفه جدا ، ويمكن كذلك وقف الصدأ بعزل الأساسات عزلا جيدا - وإن كان عزل السطح السفلى إذا لم يكن معزولا غير عملى - أو زيادة الغطاء الخرسانى أو تحسين خواص هذا الغطاء باستعمال أنواع المونة التى تمنع تغلغل الكبريتات أو الرطوبة - انظر قسم حماية الأسطح بالبواب السابع (قسم ٥ / ٢) .

و - زيادة سمك اللبشة المسلحة :

فى حالة الرغبة فى تعويض النقص الناشئ فى مساحة صلب التسليح نتيجة الصدأ أو الرغبة فى تقوية اللبشة الخرسانية نتيجة زيادة الأحمال على الأعمدة ، فإنه يمكن إضافة طبقة جديدة أعلى اللبشة المسلحة لزيادة العمق ، ويراعى فى هذه الطبقة أن يتم ربطها باللبشة القديمة بواسطة مسامير قص كافية لنقل قوى القص المتولدة بين السطحين لكى يعمل القطاع الجديد كقطاع واحد - انظر قسم (٦ / ٥ / ٢) .

٦ / ٢ / ٣ - نقل الحمل لطبقة أعمق :

إذا كانت هناك طبقة متماسكة وعلى عمق أكبر أقدر على تحمل الحمل من الطبقة الموجودة أسفل القواعد مباشرة ، فإنه يمكن نقل الأحمال لهذه الطبقة عن طريق الخوازيق الإسكندرانى - العريضة والقصيرة - أو عن طريق الخوازيق العادية ، وتنفيذ الخوازيق الإسكندرانى تحت القاعدة يستدعى إزالة الحمل عنها ثم الحفر لصب الخازوق ، أما تنفيذ الخوازيق العادية فيتم بإحدى الصور الآتية :

١ - دق الخازوق بميل خفيف ثم ربطه بالقاعدة الأصلية أو سحبه تحتها .

٢ - ثقب القاعدة الأصلية فى أماكن الخوازيق ، ثم عمل رأس للخازوق أسفل القاعدة ، مع ملء الثقوب بالمونة المناسبة .

٣ - دق الخوازيق خارج القاعدة ثم صب الوسادة الأعرض تحت القاعدة الأصلية بطريقة الركام الموضوع مسبقا - راجع إضافة خوازيق جديدة قسم (٦ / ٢ / ٢) .

٦ / ٢ / ١ - حقن التربة :

إن حقن التربة عادة ما يستخدم فى حالات نزع المياه عندما تكون التربة مسامية لدرجة تجعل عملية النزع صعبة جدا ، ولكنها نادرا ما تستخدم فى تقوية التربة لزيادة قدرتها على تحمل الأحمال ، والسبب الأساسى فى هذا هو أنه فى حالة الإنشاء الجديد فإن زيادة مساحة الأساسات للوصول إلى الإجهاد الذى تستطيع التربة تحمله عادة ما يكون أقل تكلفة من زيادة قدرة التربة بحقنها ، كما أنه مضمون أكثر ، أما فى حالة الرغبة فى زيادة قدرة الأساسات القائمة على تحمل أحمال جديدة فإن الوضع قد يكون معكوسا أى أن زيادة قدرة التربة بالحقن قد يكون أقل تكلفة من زيادة مساحة القاعدة أو إضافة قاعدة أكبر تحتها .

فلو أخذنا على سبيل المثال حالة مبنى يراد إضافة طوابق جديدة له وأن الأعمدة تتحمل الأحمال الجديدة أو سيتم عمل قمصان لها ، فتصبح مسألة زيادة قدرة الأساسات لتحمل الأحمال الجديدة هى المشكلة ، ولحل هذه المشكلة هناك طريقتان :

١ - زيادة مساحة التحميل بحيث يظل الإجهاد الواقع على التربة بعد إضافة الأحمال الجديدة مساويا لقدرتها على التحمل - شكل (٨ / ٥٢ / ب) - ويتم ذلك إما بإضافة قاعدة جديدة تحت القاعدة الأصلية أو بعمل قميص للقاعدة الأصلية - ويمكن أن يتم بربط القواعد المنفصلة فى قاعدة شريطية أو تحويلها إلى لبشة مسلحة .

٢ - زيادة قدرة التحمل للتربة بحقنها بحيث يصبح الإجهاد الجديد المسموح به مكافئا للإجهاد الناشئ عن الأحمال الزائدة ، وذلك بدون زيادة مساحة القاعدة - شكل (٨ / ٥٢ / د) .

وفى كلتا الطريقتين نجد أن العزوم وقوى القص ستزداد على القاعدة الأصلية بما يستدعى تقويتها ، وبالنسبة للطريقة الأولى فإن زيادة عمق القاعدة يحقق التقوية المطلوبة ، أما فى حالة حقن التربة فلا بد من عمل قاعدة صغيرة جديدة أعلى القاعدة الأصلية لاستيعاب الزيادة فى العزوم وقوى القص - شكل (٨ / ٥٢ / د) .

ومن الطبيعى أن إضافة قاعدة أصغر أعلى القاعدة الأصلية أسهل وأقل تكلفة من

إضافة قاعدة أكبر أسفلها ، ولكن تكلفة الحقن والتأكد من زيادة قدرة التربة على التحمل نتيجة له تضاف إلى تكلفة الطريقة الثانية ، ويعتمد اختيار إحدى الطريقتين على التكلفة أولا وعلى السهولة والظروف المحيطة ثانيا .

وفى حالة حقن التربة يجب أن يصل الحقن إلى عمق كاف تحت القاعدة الأصلية ، بحيث يحقق انتشار الحمل لمنع حدوث إجهاد زائد أسفل الطبقة التى تم حقنها ، ولحسن الحظ هذا العمق ليس كبيرا ، ففى حالة قاعدة 3×3 م مثلاً فإن الحقن لعمق ١,٥ م يؤدى إلى أن يصبح الإجهاد على التربة أسفل الطبقة التى تم حقنها أقل من نصف الإجهاد تحت القاعدة الأصلية .

وهناك عدة اعتبارات يجب مراعاتها عند اختيار طريق الحقن ، منها :

- ١ - أن تكون التربة مسامية بدرجة كافية لتقبل الحقن .
 - ٢ - اعتبارات الهبوط الكلى - حيث إن الهبوط دالة فى الحمل الكلى وليس دالة فى الإجهاد على التربة السطحية .
 - ٣ - أن تكون مواصفات البناء المحلية تسمح باستخدام هذه الطريقة فى زيادة قدرة التربة وزيادة الإجهاد المسموح به تحت الأساسات القائمة .
- ويجب عمل الاختبارات اللازمة للتأكد من سلامة وفعالية عملية الحقن بالطرق المعروفة مثل الحفر وأخذ عينات القلب (Cores) واختبارها .

٦ / ٢ / ١ / ٥ - رفع المبنى بالروافع الهيدروليكية :

هناك بعض المباني التى تعاني من الهبوط المستمر نتيجة وجود طبقات ضعيفة وعميقة ، أو وجود الطبقات القوية على أعماق كبيرة لا يمكن للخوازيق الوصول إليها أو وجود مباني ملاصقة تمنع انتشار الأحمال أفقيا ، هذا الانتشار الذى من شأنه أن يقلل الهبوط ، وفى هذه الحالات يمكن معالجة الهبوط المستمر - كمشكلة صيانة - أى أنه كل فترة يتم إرجاع المنشأ إلى وضعه الأصلى بالروافع الهيدروليكية ، وتظهر هذه المشكلة أكثر فى المدن ذات التربة الضعيفة كمدينة نيومكسيكو بالمكسيك ويصبح من الضرورى تركيب روافع دائمة فى نقاط مختارة بعناية ، كما أن وجود نقاط ثابتة (Reference lev- els) للتحقق من المستوى الأفقى بسهولة ضرورى لتحديد الفترات الزمنية التى يلزم عندها رفع المبنى ، وهذا الحل مكلف بعض الشيء ، وقد يكون من الممكن كبديل ترك المبنى يغوص مع زيادة عدد السلاالم المؤدية إلى البدروم كل سنة .

٦ / ٢ / ٢ - الأساسات العميقة :

٦ / ٢ / ٢ / ١ - القمصان Jackets :

والأساسات العميقة عادة ما تكون تحت الماء ، سواء تحت مياه الأنهار أو البحار في حالة استعمالها كركائز للكباري أو المنشآت البحرية . خوازيق ، دعائم رأسية - أو تحت المياه الجوفية في حالة نقل أحمال المنشآت إلى طبقات عميقة من التربة ، وفي كلتا الحالتين تكون الأساسات العميقة معرضة لظروف قاسية من ناحية الصدأ مما يؤدي إلى صدأ الحديد وتدهور خرسانة الخوازيق .

وأفضل طرق الإصلاح في هذه الحالة هو عمل قميص من الخرسانة لهذه الخوازيق أو الدعائم ، وسوف نتعرض لطرق عمل القمصان تفصيلاً في قسم (٦ / ٣ / ٤) ، وفيها يتم تغليف الخازوق بطبقة جديدة من الخرسانة مع إضافة صلب تسليح جديد أو عدم إضافته حسب حالة تدهور تسليح الخازوق الأصلي ، ولعمل القميص تستخدم فرم وشدات من الخشب أو الحديد المطروق أو الصلب ، وقد تكون الشدة مؤقتة ولكن في أغلب الأحوال تكون هذه الشدة دائمة لصعوبة فكها ولتساهم في توفير الحماية للخازوق بعد إصلاحه .

وتستخدم الشدة المؤقتة في إصلاح الخوازيق البحرية ودعائم الكباري ، حيث يكون الجزء المحتاج إلى إصلاح فوق سطح القاع في المنطقة بين مستوى المياه المرتفع والمنخفض ؛ لأن هذه المنطقة تتعرض للبلل والجفاف مما يوفر الرطوبة والأكسجين اللازمين لحدوث الصدأ ، أما الأجزاء الموجودة تحت سطح الماء باستمرار فغالبا لا تتعرض لصدأ شديد ، ومثال ذلك إصلاح التدهور الشديد في الخوازيق الحاملة لكوبري في الولايات المتحدة - شكل (٥٥ / ٨) - أو تغليف الخرسانة المتدهورة لدعامة رأسية لكوبري آخر - شكل (٦٣ / ٨) .

أما الشدات الدائمة - وخاصة المعدنية - فتستخدم في إصلاح الخوازيق المدفونة في الأرض ، حيث تصبح مشكلة عمل الشدة لصب القميص مشكلة صعبة ، وقد يمكن حلها بدق الشدة المعدنية ثم إزالة التربة داخلها لصب الخرسانة ، وخاصة في الأجزاء العليا من الخوازيق .

وفي الحالتين تستعمل قطع من المطاط لسد الشدة من أسفل وذلك لكيلا تفقد الخرسانة في التربة ، كما تستعمل قطع خشبية لحفظ المسافة بين الشدة وبين الخازوق المراد إصلاحه ، كما في شكل (٦٥ / ٨) .

ويستحسن عمل تجربة أو أكثر لصب القمصان تحت ظروف التشغيل الفعلية ، ثم اختبار الخرسانة للتأكد من جودتها ومطابقتها للمواصفات المطلوبة ، ويتم ذلك بوضع شدة للقميص فقط بجوار الخوازيق المراد إصلاحها وسدها من أسفل ، ثم صبها بنفس الطريقة والمواد المقترحة لصب القميص ، وبعد سبعة أيام يتم إحضار القميص إلى الشاطئ - إذا كانت الخوازيق في مجرى مائي مثلا - وفك الشدة وفحص الخرسانة للتأكد من عدم وجود تعشيش ، ثم أخذ عينات القلب الخرساني لتحديد قوة الخرسانة .

٦ / ٢ / ٢ - إضافة خوازيق جديدة :

في حالة عدم القدرة على إصلاح الخوازيق الموجودة إصلاحا فعالا ، أو في حالة الرغبة في تقوية الأساسات لتحمل أحمال جديدة أو الرغبة في نقل أحمال بالأساسات السطحية إلى طبقات أعمق وأكثر تماسكا - فيتم إضافة خوازيق جديدة ، وهذه الإضافة تأخذ عدة أشكال :

١ - عمل خوازيق جديدة بجوار الأساسات القائمة ثم ربطها بالأساسات القائمة .

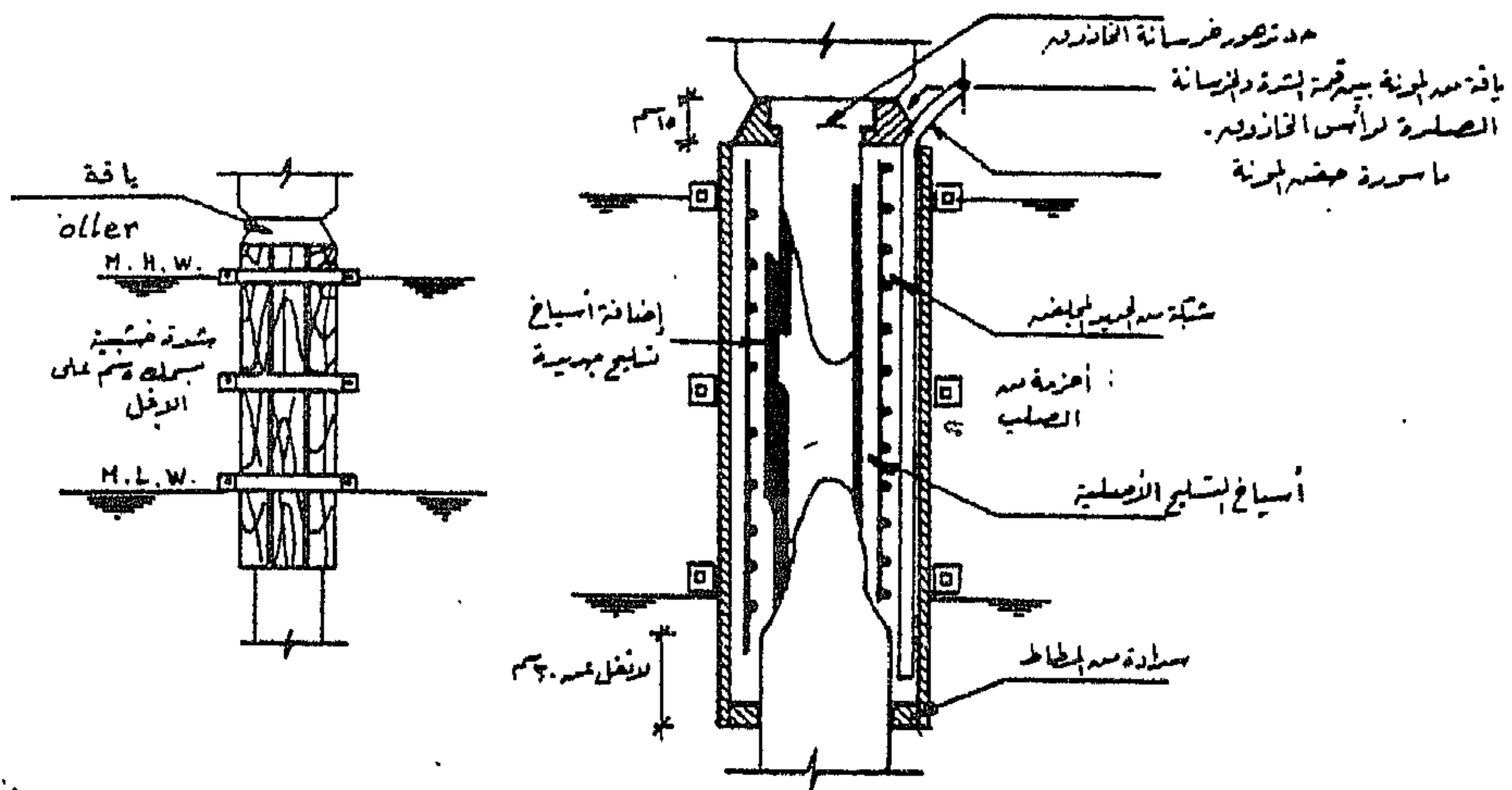
٢ - عمل خوازيق بميل خفيف ثم سحبها تحت القواعد القائمة .

٣ - إضافة خوازيق جديدة للوسائد القائمة - كما في شكل (٨ / ٥٦) - ويراعى في هذه الحالة الاشتراطات التالية :

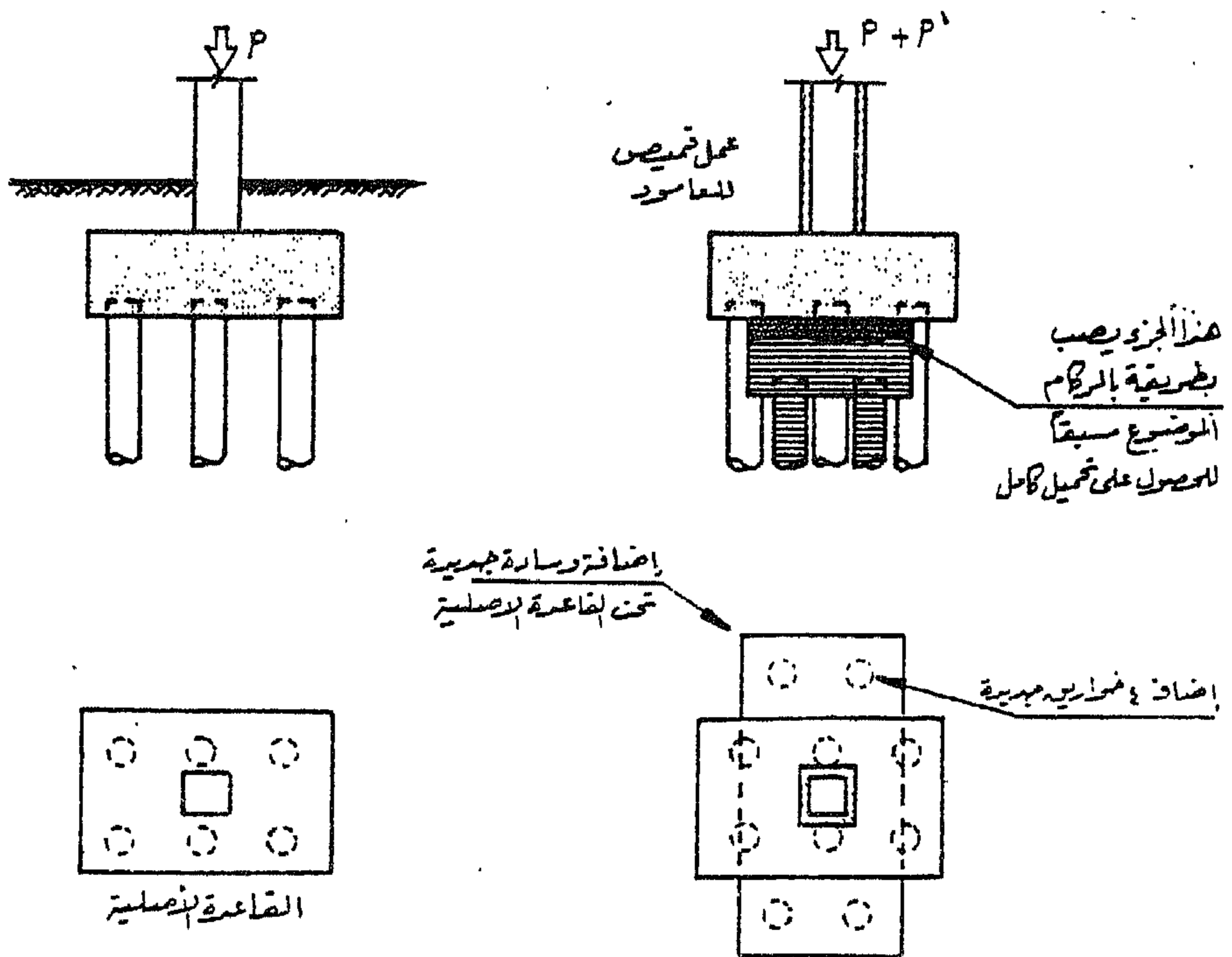
أ - أن تكون الخوازيق الجديدة بنفس قطر وطول الخوازيق الأصلية ما أمكن ، حتى تكون جساءة Stiffness الخوازيق الجديدة مثل الخوازيق الأصلية - والجساءة تعتمد على الانضغاط المرن للخازوق والهبوط لكل وحدة أحمال - ويمكن أن يكون طول الخوازيق الجديدة أقصر من الأصلية - إذا تم الوصول إلى المناعة المطلوبة - ولكن الاختلاف يجب ألا يتعدى ٣٠ % .

ب - أن يتم صب الجزء العلوى من الوسادة الجديدة بطريقة الركام الموضوع مسبقا ، لتلافي حدوث أى انكماش يؤدي إلى وجود فراغ بين الوسادة الجديدة والأصلية .

ج - في حالة ما إذا كانت الخوازيق القديمة محملة إلى الحد الأقصى من مقاومتها أو قريبا منه ، فلا بد من إزالة جزء من الحمل الواقع عليها قبل إضافة الخوازيق الجديدة ، لأنه إذا لم يتم ذلك فستصبح الخوازيق الأصلية محملة بالحمل الأصلي بالإضافة إلى نصيبها من الحمل الجديد مما سيجعلها تتعدى الحد الأقصى وتصبح غير آمنة (Unsafe) ،



شكل (٨ / ٥٥) إصلاح خوازيق حاملة لكوبرى بعمل قميص لها



شكل (٨ / ٥٦) إضافة خوازيق جديدة لقاعدة مصبوبة

وإزالة جزء من الحمل يتم عن طريق إزالة بعض الأحمال من المبنى أو عمل الإصلاحات أثناء عدم وجود الحمل الحى على كوبرى ، وهذا أسهل وأرخص الحلول ، وإذا لم تكن تلك الحلول عملية فيتم إزالة جزء من الحمل عن طريق الدعامات الرأسية أو الكمرات الأفقية - كما سبق ذكره فى قسم (٣ / ١ / ٦) وشكلى (٥٠ / ٨) ، (٥١ / ٨) .

٦ / ٢ / ٣ - الحوائط الساندة :

٦ / ٢ / ٣ / ١ - إصلاح تصدع الخرسانة :

ويأخذ تصدع الخرسانة فى الحوائط الساندة عدة أشكال ، فقد يأخذ صورة التعشيش فى حالة الحوائط العميقة الضيقة ، وخاصة إذا لم يتم دملك الخرسانة ميكانيكيا باستعمال الهزازات ، وقد يكون فى صورة شروخ تختلف أشكالها وأماكنها باختلاف الجو المحيط ، وفى الأجواء الباردة تكون الشروخ فى الحوائط حديثة الصب نتيجة انكماش الخراري المبكر فى أغلب الأحوال ، وقد سبق مناقشة هذه النوعية من الشروخ وأسبابها فى قسم (٢ / ٣ / ٢) من الباب الرابع ، وهى تظهر فى العبر المبكر للخرسانة بعد يوم أو يومين إلى أسبوعين أو ثلاثة ، وتأخذ إحدى صور ثلاث :

أ - شروخ رأسية فى الحوائط السميكة ، حيث تبدأ من الدليل (Kicker) الموجود بأسفل الحوائط - شكل (١٢ / ٥) بالباب الخامس - وسببها غالبا الحرارة العالية المتولدة أثناء تصلد الخرسانة ثم حدوث تبريد مفاجئ مع وجود قيد على الحركة - اتصال الحائط بأرضية ممتدة .

ب - شروخ أفقية فى الحائط عند الدليل أو أعلى منه قليلا إذا حدث تبريد مفاجئ مع وجود قيد داخلى على الحركة .

ج - شروخ بقدم الحائط إذا كان هذا القدم سميكاً وممتدا بسبب الفرق الكبير فى درجة الحرارة بين السطح البارد والقلب الأكثر حرارة .

أما فى الأجواء الحارة فالانكماش نتيجة الجفاف عادة ما يكون هو سبب ظهور الشروخ فى الحوائط غير السميكة ، وسبب ذلك غالبا ما يكون عدم كفاية المعالجة بعد فك الحوائط أو عدم البدء فيها بسرعة ، ويستغرق ظهور هذه الشروخ أسابيع أو شهورا حتى تتوقف ، وذلك حسب حرارة الجو والمعالجة المتبعة ، وقد سبق مناقشة أسباب شروخ الانكماش فى قسم (٢ / ١ / ٢) من الباب الرابع .

وهناك نوع آخر يظهر بعد الصب مباشرة وهو شروخ انكماش الخرسانة اللدنة - كما فى شكل (٤ / ٢) بالباب الرابع - وتظهر على السطح العلوى للحوائط الرفيعة .

وشروخ صدأ الصلب من الأشكال الشائعة فى الحوائط الساندة نتيجة تعرضها للمياه الجوفية التى قد تحتوى على كبريتات أو كلوريدات ، ونتيجة نقص الغطاء الخرسانى فى الحوائط الرفيعة أو عدم جودة الخرسانة ونفاذيتها ، بحيث لا توفر الحماية المطلوبة لصلب التسليح - راجع قسم (٢ / ٢ / ٦) عن الباب الرابع - وتأخذ هذه الشروخ شكل صلب التسليح - أى تكون رأسية فى الغالب - وتؤدى إلى تساقط الخرسانة وظهور بقع الصدأ المعروفة ، ويستغرق ظهورها عدة سنوات .

وقد سبق مناقشة طرق إصلاح هذه الأشكال من تدهور الخرسانة فى قسم (٤ / ٤) - إصلاح تعشيش الخرسانة - وقسم (٥ / ٤) - سد الشروخ وملئها - وقسم (٦ / ٤) - إصلاح صدأ الحديد - والإصلاحات الإنشائية فى القسم الخاص بها من هذا الباب ، وبالنسبة لانكماش الخرسانة اللدنة والتقلص الحرارى المبكر فهو يظهر فى العمر المبكر للخرسانة ويتم إصلاحها قبل الردم خلف الحائط الساند ، وشروخ الانكماش نتيجة الجفاف قد لا تظهر مبكراً ولكنها تكون غالباً على السطح الظاهر - غير المواجه للردم - أما صدأ الحديد فتستغرق عدة سنوات لكى تظهر ، وعادة ما تكون على السطح المواجه للردم - أى غير ظاهرة - ونذا فهى أخطر أنواع هذه الشروخ ، ويمكن الكشف عليها باستخدام الأجهزة الحديثة للكشف عن الصدأ ، كما سبق توضيحه فى الباب الثالث .

٦ / ٢ / ٣ - تقوية الحوائط أو زيادة المقاومة للقوى الجانبية

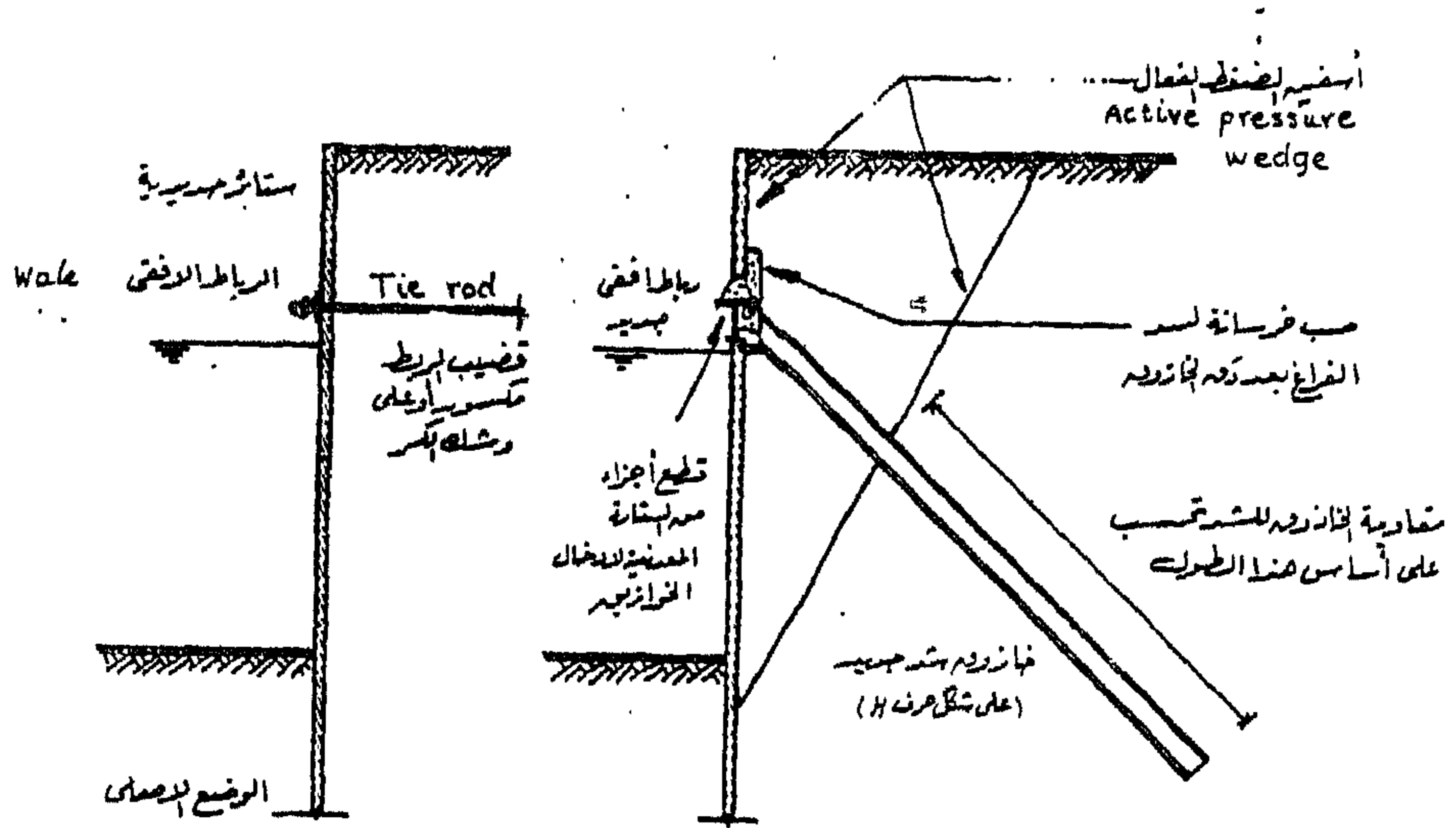
Increasing resistance to overturning forces :

وذلك بالنسبة للحوائط الساندة والستائر الحديدية ، ويتم ذلك بإحدى صور ثلاث :

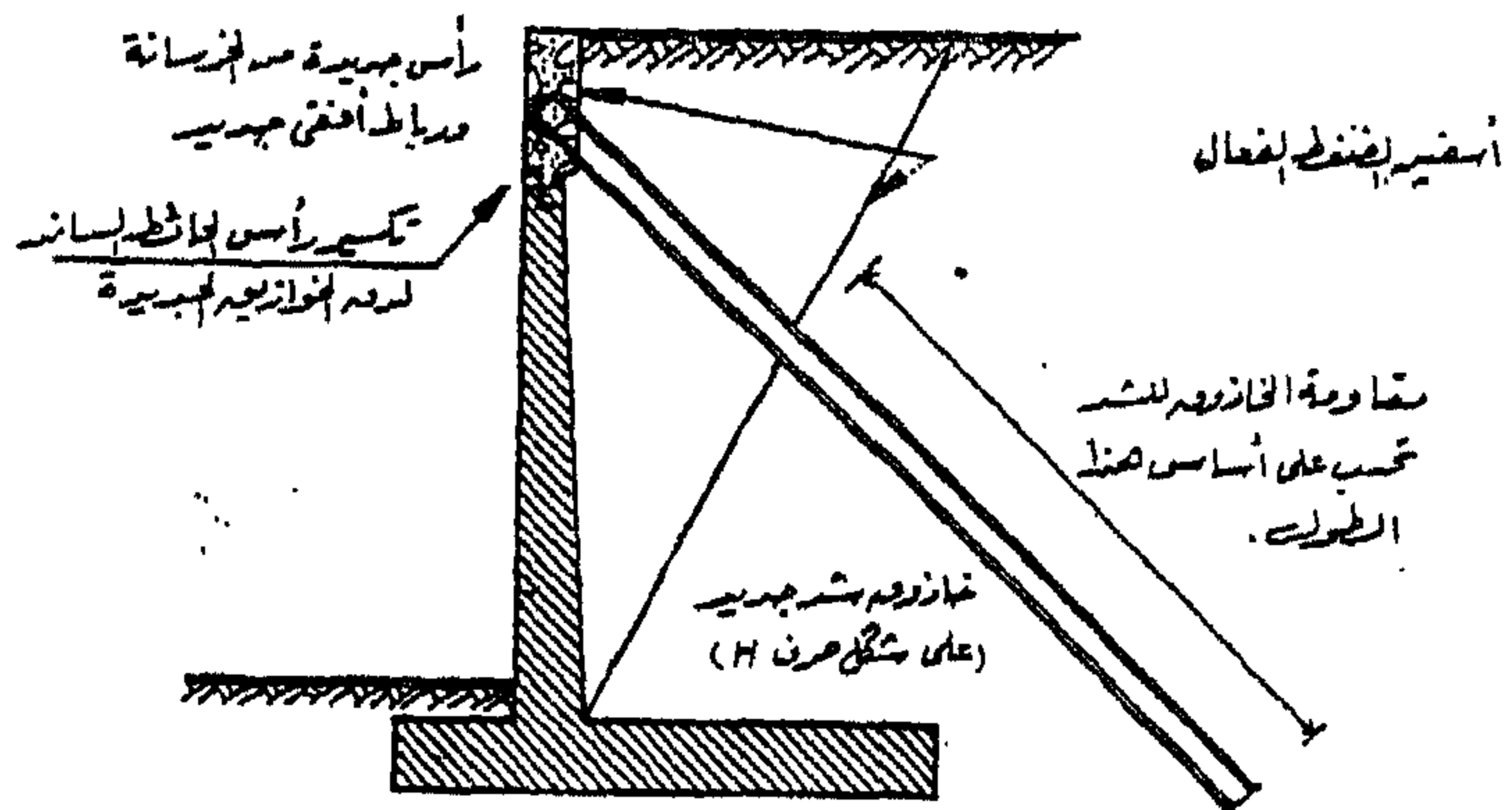
أ - التحويل إلى المقاومة بالكتلة وليس بالهيكل (Conversion to gravity structure) وذلك عندما يتوفر الفراغ المطلوب ، فيمكن زيادة مقاومة الحائط الساند للقوى الجانبية بإضافة أوزان وكتل إلى الحائط ، وهذا يوفر مقاومة الوزن للانقلاب - المقاومة بالكتلة وليس بالشكل - ويراعى التحقق من الإجهادات فى هذا المنشأ المعدل وخاصة الإجهادات على التربة حيث إنها ستزيد زيادة كبيرة .

ب - استعمال خوازيق الشد : وهى وسيلة معروفة تستخدم لتقوية الستائر المعدنية والحوائط الساندة ، ولكنها تحتاج إلى وجود حيز أو خلوص (Clearance) مثل الخوازيق الجديدة ذات الإزاحة المنخفضة (low displacement) .
يمكن دق الخوازيق ذات البقاع على شكل حرف H ، كما ينصح باستخدام الدفع الهيدروليكي بدلا من الدق كلما كان ذلك ممكنا ، ويجب أن تكون الخوازيق طويلة بما فيه الكفاية ليوجد طول تثبيت كاف بعد منطقة إسفين الضغط الفعال ويستحسن إهمال مقاومة الخلع التي تحدث فى منطقة الضغط الفعال عند تصميم خوازيق الشد . كما يجب حساب إعادة توزيع الإجهادات فى الحائط الساند نتيجة لرد فعل خازوق الشد Anchor reaction الذى لم يكن موجودا فى التصميم الأصلي - شكل (٨ / ٥٧ / ب) .

ج - التدعيم المائل Braces or Buttresses : وهذا النوع من الإنشاء موضح فى شكل (٨ / ٥٨) ، ويمكن استخدامه فقط فى حالة وجود مساحة كافية للدعامات المائلة ، ويجب أن يتم عمل أسفين لتثبيت الدعائم المائلة تثبيتا لا حركة فيه فى الستارة المعدنية أو الحائط الساند .



٢- التدعيم الأفقي للسنتار المعدنية



٣- التدعيم الأفقي للحوائط الساندة

شكل (٨ / ٥٧) زيادة المقاومة للقوى الجانبية باستعمال خوازيق الشد

الاحتياطات :

حيث إن هذ الدعامات دائمة ، فيستحسن صب خرسانة مسلحة. حولها لحمايتها من العوامل الجوية وزيادة عمرها التشغيلي .

ويجب أن يتم نقل حمل الدعامات على دعائم أسفلها وحتى الأساسات إذا كان العامود المصاب ليس فوق الأساسات مباشرة .

العيوب :

١ - فاقد كبير في المساحة المستغلة للدور .

٢ - لا تستطيع الدعامات نقل العزوم في حالة وجود عزوم على العامود .

٦ / ٣ / ٣ - استبدال الجزء التالف :

في حالة وجود تعشيش شديد بالحائط يؤدي إلى نقص كبير في مساحة المقطع بالإضافة إلى تفكك الخرسانة وضعفها أو في حالة وجود خرسانة معيبة - بها كلوريدات مثلاً - في جزء من العامود ولكن بكامل قطاعه ، فإنه يلزم إزالة الخرسانة تماماً واستبدال الجزء التالف ، وذلك باستخدام طريقة الحقن على الركام الموضوع مسبقاً - شكل (٨ / ٤٤ أ) - أو الملء بالخرسانة ثم ضغطها - شكل (٨ / ٦٠) .

أ - طريقة الحقن على الركام الموضوع مسبقاً Prepacked aggregate concrete :

- ١ - يتم إزالة حمل العامود كلياً ، وذلك باستعمال الروافع الهيدروليكية .
- ٢ - يتم إزالة الخرسانة المفككة أو المعيبة تماماً ، مع مراعاة عدم الإضرار بأسياخ الصلب أو الكانات .
- ٣ - يتم ملء الفراغ الناتج بحبيبات من الركام ذات مقاس واحد - غالباً ٢ سم - بحيث تملأ الفراغ ملئاً تاماً .
- ٤ - تحقق المونة الأسمنتية لملء الفراغ بين حبيبات الركام من أخفض نقطة مع وجود فتحات لخروج الهواء بأعلى الشدة - كما هو مبين في شكل (٨ / ٤٤ ب) .
- ٥ - بعد التأكد من ملء مونة الحقن لكل الفراغات - يستحسن استخدام شدة بها يبرز شفاف لهذا الغرض - تزال الشدة وتبدأ معالجة الخرسانة حتى تصل إلى المقاومة

المطلوبة ثم يعاد الحمل إلى العמוד .

ب - طريقة الملء بالخرسانة وضغطها Pressurized forms :

١ ، ٢ - يبدأ العمل كالطريقة السابقة بإزالة حمل العמוד وإزالة الخرسانة المعيبة .

٣ - تصب الخرسانة على دفعات بارتفاع لا يزيد عن ٣٠ سم في كل مرة ، وتعمل الشدة بطريقة خاصة لتسمح بذلك - (شكل ٨ / ٦١) - وهذه الخرسانة يجب أن يكون مقاس الركاب الكبير بها أكبر ما يمكن - حسب ما يسمح به حجم الإصلاح - وأن يكون الماء أقل ما يمكن لتقليل الانكماش إلى الحد الأدنى ، ويستحسن أن تزود الشدة بفتحات مناسبة لكيلا يكون هناك حاجة لدفع الخرسانة أفقياً للملء الشدة .

٤ - يتم دمك الخرسانة بالهزازات الخارجية - هزاز شدة - مع الضغط عليها بمكعب الضغط - شكل (٨ / ٦١) - حتى تملأ الفراغ كله ، ويتم تكسير أسفل الجزء العلوى من العמוד أو الحائط بميل ، كما هو مبين بالشكل للتأكد من ملء الفراغ تماماً .
الاحتياطات :

١ - لا تستعمل طريقة الصب العادية فى هذه الحالة ، لأنه يصعب عند استخدامها ملء الفراغ تماماً ، وأى فراغ بسيط بين الخرسانة الجديدة والقديمة ضار جداً بعملية الإصلاح .

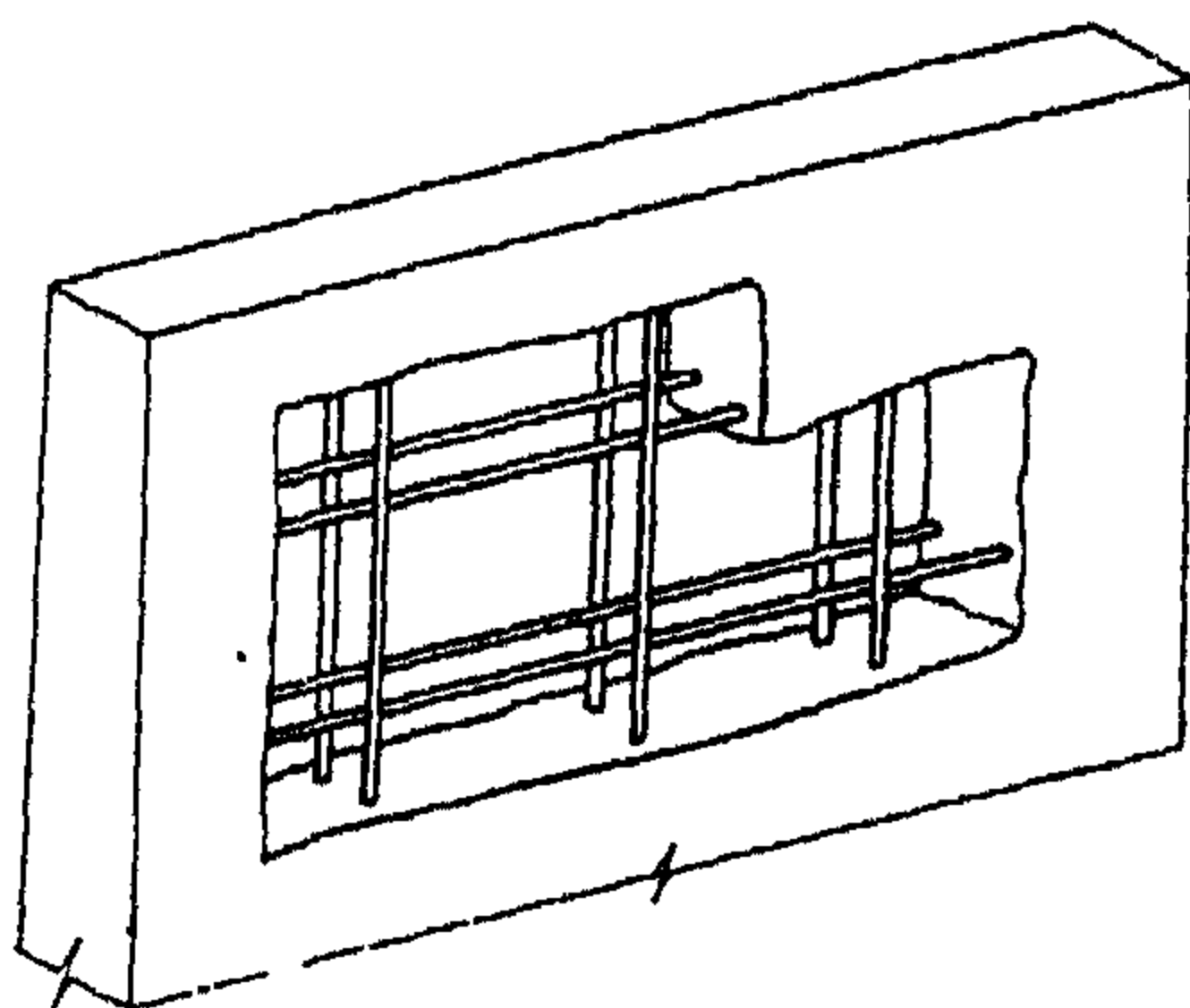
٢ - يراعى عند إزالة حمل العמוד الجارى إصلاحه عدم تحميل الأعمدة المجاورة بأحمال تزيد عن طاقتها ، ولكن يستحسن نقل حمل العמוד عن طريق دعائم مؤقتة إلى الأساسات .

٦ / ٣ / ٤ - التغليف (القمصان) Jacketting :

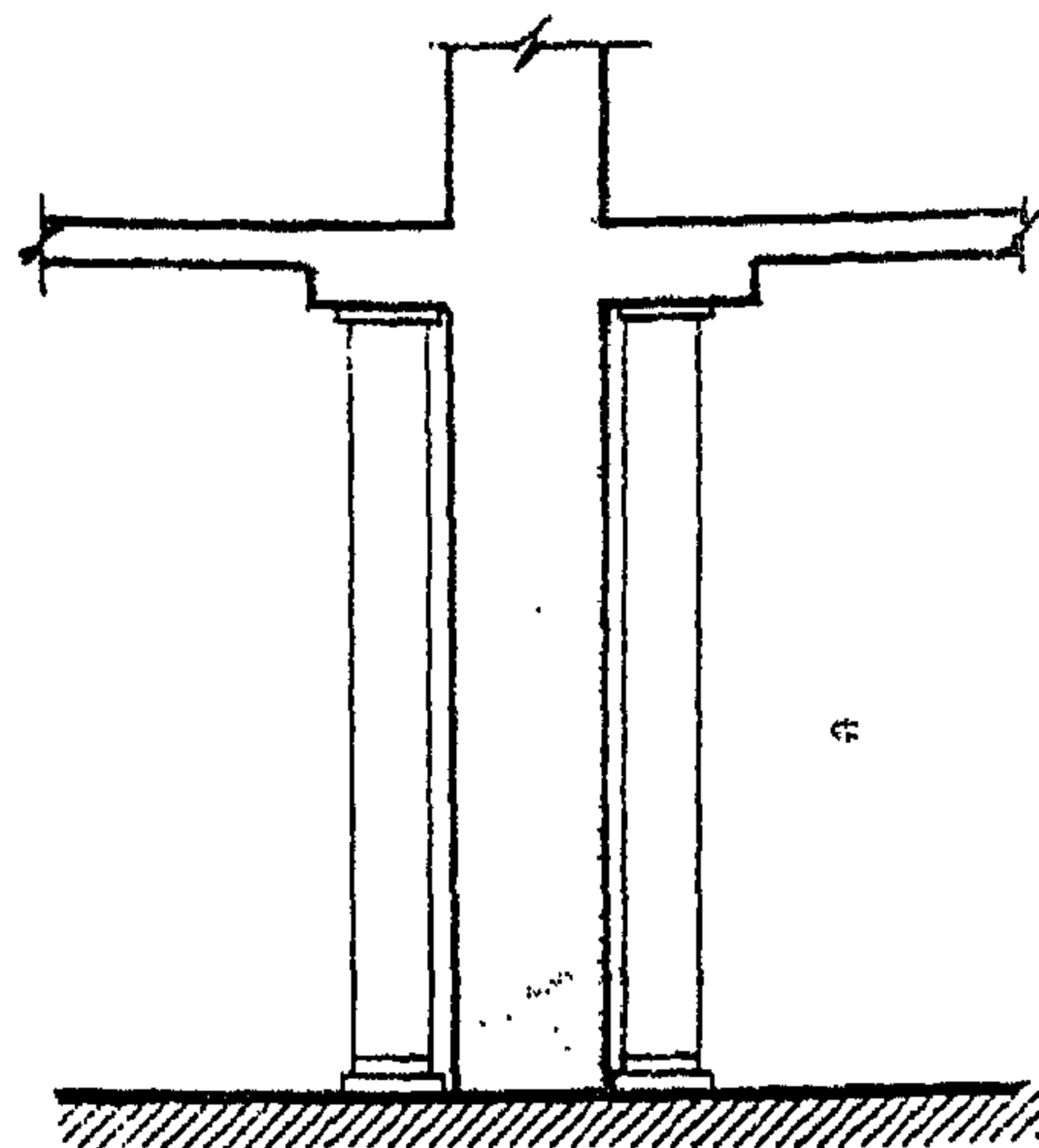
وهى أكثر الطرق استخداماً فى إصلاح الأعمدة وفى زيادة قدرتها على تحمل أحمال جديدة وفى منع حدوث تدهور جديد إذا كان الوسط المحيط ضاراً بالخرسانة ، وهذه الطريقة تستخدم كذلك فى إصلاح الخوازيق ودعائم الكبارى (Piers) ، وهى مفيدة بصفة خاصة فى الإصلاحات تحت الماء .

الوصف :

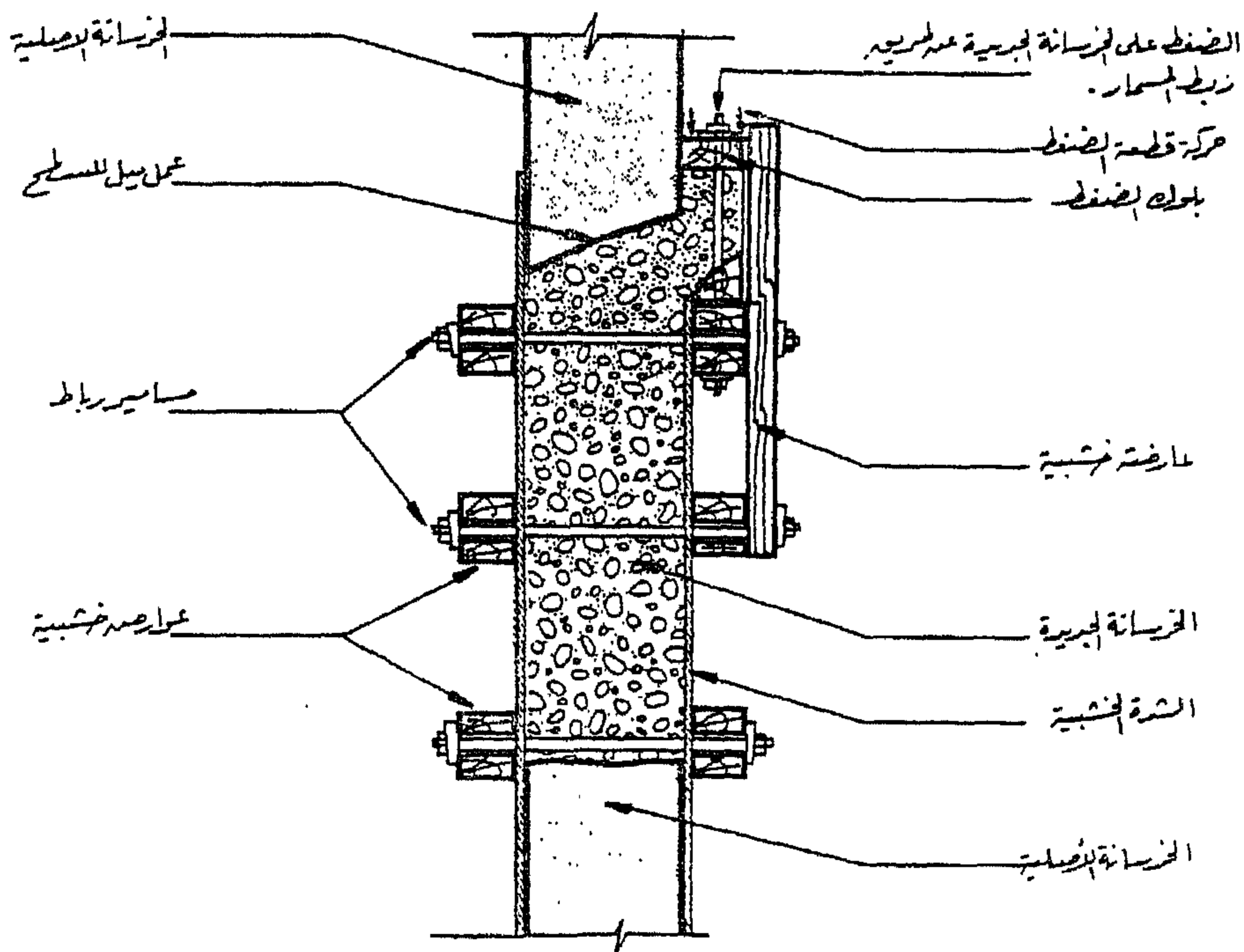
التغليف هو استعادة أو زيادة القطاع الخرساني بتغليفه بطبقة جديدة من الخرسانة المسلحة .



شكل (٦٠ / ٨) شكل الخائط
بعد إزالة الخرسانة المعيبة



شكل (٥٩ / ٨) التدعيم الدائم
لعمود



شكل (٦١ / ٨) استبدال الجزء التالف باستخدام طريقة ضغط الخرسانة الجديدة

الفرض :

- ١ - إحاطة العضو الخرساني بطبقة غير منفذة للرطوبة والسوائل الضارة ، مما يوفر الحماية للعضو .
- ٢ - زيادة مساحة القطاع العرضي في حالة الرغبة في زيادة قدرة العضو على تحمل الأحمال .
- ٣ - زيادة مساحة الصلب الرأسى في حالة حدوث صدأ للصلب الأصلي .
- ٤ - توفير ضغط جانبي Confinement عن طريق التسليح العرضي - الكانات - والقطاع الخرساني للقميص ، مما يؤدي إلى زيادة قدرة العמוד الأصلي - حتى وإن لم يزد قطاعه .

الطريقة :

١ - الفرغ والشدات :

يجب أن تزود شدة القميص ببلوكات خرسانية أو قطع بلاستيك لحفظ المسافة بين الشدة والعמוד الأصلي ، ويمكن أن تكون الشدة دائمة أو مؤقتة ، وقد تكون من الخشب أو الحديد المطروق أو الصلب أو الخرسانة سابقة الصب - شكل (٦٢ / ٨) إلى شكل (٦٥ / ٨) .

أ - الشدات الخشبية :

تستعمل الفرغ الخشبية العادية - ولكن ذات تقوية خاصة - في عمل قمصان الأعمدة كشدة مؤقتة ، كما تستخدم كشدة دائمة في عمل قمصان الدعامات الرأسية والخوازيق في المنشآت البحرية حيث توفر الحماية للخرسانة - سواء القديمة أو خرسانة الإصلاح - من هجوم الكيماويات أو من العوامل الجوية ، وذلك طالما أنه لا يوجد اعتراض على شكلها ولا يوجد خطر الحريق ، والشدة الخشبية الدائمة لها عدة مزايا :

- ١ - تعزل الخرسانة من المواد الضارة .
- ٢ - تمنع تعرضها لدورات التجمد والذوبان .
- ٣ - امتصاص الخشب للرطوبة يجعل الخرسانة دائما رطبة ، مما يقلل من التغيرات الحجمية .

٤ - تمنع تآكل السطح نتيجة الرياح المحملة بالأتربة أو المياه السريعة أو فعل الجليد .

ولكن الخشب يجب أن يعالج بحيث يحفظ من العوامل المتلفة للأخشاب . ويجب تقوية الشدة بحيث لا يحدث بها تقوس عند ضخ الخرسانة ، كما يجب أن تكون الألواح متلاصقة بحيث لا تسمح للبانى - المونة الخفيفة - بالمرور بينها ، ويجب أن يتم تقفيل الشدة من أسفل وخاصة إذا كان الإصلاح تحت الماء فيتم تقفيلها بالمطاط عن طريق غواص ؟ وفى حالة الشدات للقمصان تحت الماء تستعمل معادن مقاومة للصدأ ولا تستعمل أسلاك الصلب ، ويوصى باستخدام الحديد المجلفن في ربط الألواح الخشبية - شكل (٨ / ٦٢) .

ب - شدات الحديد المطروق أو المدلفن :

وتصلح كشدة دائمة ولكنها مكلفة ، ولا تستعمل إلا فى حالة الرغبة فى عمل إصلاح يدوم مدة طويلة تعادل الزيادة فى التكلفة ، ويكون العضو المطلوب إصلاحه معرضا للصدمات أو للتآكل الشديد - شكل (٨ / ٦٣) .

ج - الشدات من الخرسانة سابقة الصب :

وهى شدات دائمة ولكنها لا تخدم كل الأغراض التى تخدمها الشدات الخشبية الدائمة ، وتستعمل فى حالة وجود خطر الحريق أو الرغبة فى الحصول على مظهر الخرسانة أو فى حالة وجود ما يمنع من استخدام الشدات الخشبية - شكل (٨ / ٦٤) .

د - الشدات المعدنية :

وهى شدة مؤقتة تستعمل حين يكون المظهر مهما أو تكون الشدة الخشبية لن تعمر طويلا ، وعندما تكون الظروف المحيطة بالخرسانة معتدلة بحيث لا يحتاج الأمر إلى شدة دائمة ، وتصنع هذه الشدة بحيث يسهل فكها ، وتزود بشرائح من المطاط بحيث لا يحدث تسرب للبانى منها - شكل (٨ / ٦٥) .

٢ - صب الخرسانة أو ضخها :

تملأ الفرع بالخرسانة عن طريق صبها بالطريقة العادية - قسم (٥ / ٢ / ٢) - أو صبها على ركاب موضوع مسبقا - قسم (٥ / ٢ / ٣) - أو ضخ مونة الأسمنت والرمل Grout فى حالة الشدات المعدنية الدائمة .

وفى جميع الحالات يتم إزالة كل الخرسانة المعيبة وإعداد العنصر الخرساني كما سبق ذكره فى قسم (٥ / ٢ / ١ / ١) - ولزيادة تماسك القميص مع العמוד الأصى يتم دهان الخرسانة القديمة بمواد زيادة التماسك - كالمذكورة فى قسم ٥ / ٢ / ١ / ١ - أو يمكن استعمال مسامير مقاومة القص .

وفى حالة الأعمدة الطرفية يمكن ملء القميص ودمكه من الخارج - حيث إن القميص أعرض من العמוד الأصى - أما فى حالة الأعمدة الداخلية فملء القميص تماما وعدم ترك فراغ بين الخرسانة الجديدة والسقف القديم ليست مسألة سهلة ، فيمكن أن يصب القميص على حطات - كل منها لا يزيد ارتفاعه عن ١,٥ م - وفى الحطة العليا يتم عمل شبك فى الشدة لصب الجزء العلوى من القميص ، ولكن الأفضل لضمان تمام الملء أن تعمل فتحات فى السقف ليتم صب الحطة العليا ودمكها منها ، حتى يمكن التأكد من أنه لا يوجد فراغ بين السقف والقميص .

٣ - المعالجة :

ويمكن أن تتم المعالجة بعدم فك شدة القميص أثناء فترة المعالجة ، أو فكها وجعل القميص فى حالة بلل دائم لمدة أسبوعين على الأقل .

٤ - الاحتياطات :

فى حالة إصلاح أعمدة مبنى قائم لن يشارك القميص فى تحمل الحمل بكفاءة إلا فى حالة إزالة الحمل - ولو جزئيا - حتى تصل مقاومة القميص إلى القيمة المطلوبة ، ثم إعادة الحمل مرة أخرى ، وهذا سيقول من حدوث انكماش فى خرسانة القميص لعدم تعرضها لإجهادات ضغط أثناء تصلدها ، أما فى حالة تقوية الأعمدة لزيادة الأحمال مستقبلا فى حالة تلبية المبنى مثلا فلا داعى لإزالة حمل العמוד أثناء عمل القميص .

٦ / ٣ / ٤ / ١ - أنواع القمصان :

فى بعض الحالات قد لا يمكن تغليف العמוד من أربعة جهات وذلك لوجود جدار ملاصق للعמוד من ناحية واحدة أو ناحيتين - عמוד الركن - أو لوجود عوائق كحائط ساند أو مواسير الصرف التى يصعب نقلها ، ولذا فهناك أربع حالات للقمصان هى حالة التغليف الكامل وحالة التغليف من ثلاث جهات أو جهتين أو جهة واحدة - والأخيرة حالة نادرة .

وفى حالة التغليف من ثلاث جهات أو جهتين فيستحسن ربط كانات القميص بالحديد الرأسى للعامود الأصلى - شكل (٦٦ / ٨) - لأن الأبحاث أثبتت (٢١) ؛ أنه فى حالة عدم الربط تصبح هناك لا مركزية فى الحمل على القطاع الجديد تؤدي إلى حدوث عزوم ، ومن ثم حدوث انفصال بين القميص والعامود الأصلى عند الأحمال العالية ، والمنطقة العليا من القميص - لمسافة تساوى ضعف إلى ثلاثة أضعاف عرض العامود الأصلى - هى المنطقة التى يوصى بزيادة الكانات فيها والاهتمام بربطها جيدا فى حديد العامود الأصلى (٢٢) .

٦ / ٣ / ٤ / ٢ - قدرة العامود الجديد (بعد تغليفه) :

إن حساب قدرة تحمل العامود الجديد على أساس المساحة الكلية للعامود بعد تغليفه تعطى قيمة مبالغ فيها وغير صحيحة (٢٢) ؛ لأن الحمل الأقصى للعامود بعد التقوية يعتمد على العوامل الآتية :

- ١ - شكل وأبعاد القميص .
 - ٢ - مساحة وشكل الكانات والحديد الرأسى فى القميص .
 - ٣ - درجة خشونة السطح وعدد مسامير القص (Shear connectors) ، أى قدرة نقل الحمل بين العامود الأصلى والقميص .
 - ٤ - مستوى الحمل فى العامود الأصلى أثناء تنفيذ القميص .
 - ٥ - مقاومة خرسانة القميص والعامود الأصلى للضغط .
 - ٦ - خصائص القميص والعامود الأصلى من حيث الانكماش والزحف .
- ولذلك يوصى عند حساب قدرة العامود بعد تغليفه بأخذ ٦٠٪ فقط من مساحة القميص ومساحة الحديد الطولى به - كما هو مبين فى شكل (٦٧ / ٨) .

٦ / ٣ / ٤ / ٣ - نتائج الأبحاث :

- ١ - إن استعمال الكانات العادية المفتوحة على شكل حرف (U) لا يعطى الضغط الجانبى الكافى ، ويستحسن أن تكون هذه الكانات مقفولة أو ذات فرعين (٢٢) - كما فى شكل (٦٦ / ٨) .

٢ - المسافة بين الكانات يجب ألا تتعدى عشرة أضعاف قطر الحديد الطولى فى القميص ، وتقل المسافة إلى نصف هذه القيمة فى الجزء العلوى والسفلى من القميص (٢٣) .

٣ - استطالة العמוד تؤدي إلى إضعاف تأثير الضغط الجانبي Confinement بالمقارنة بالأعمدة المربعة ، وكلما زادت استطالة كلما قلد كفاء القميص (٢٣) .

٤ - يمكن حساب الزيادة فى قدرة العמוד على تحمل الأحمال نتيجة تير الضغط الجانبي من المعادلة (٢٤) :

الزيادة فى الحمل = $2,5 \times$ محيط العמוד الأصلي \times سمك القميص \times مقاومة خرسانة القميص للشد .

٥ - فى حالة وجود عزوم على الأعمدة المطلوب تقويتها - ولكن الحمل اللامركزى مازال بداخل قلب القطاع أى اللامركزية لا تتعدى سدس عرض العמוד - فزيادة الكانات وربطها جيدا بحديد العמוד الأصلي يساعد فى مقاومة هذه العزوم إذا كان طول العמוד / عرضه لا يزيد عن ١,٤ (٢٤) .

٦ / ٣ / ٥ - طرق نقل العزوم :

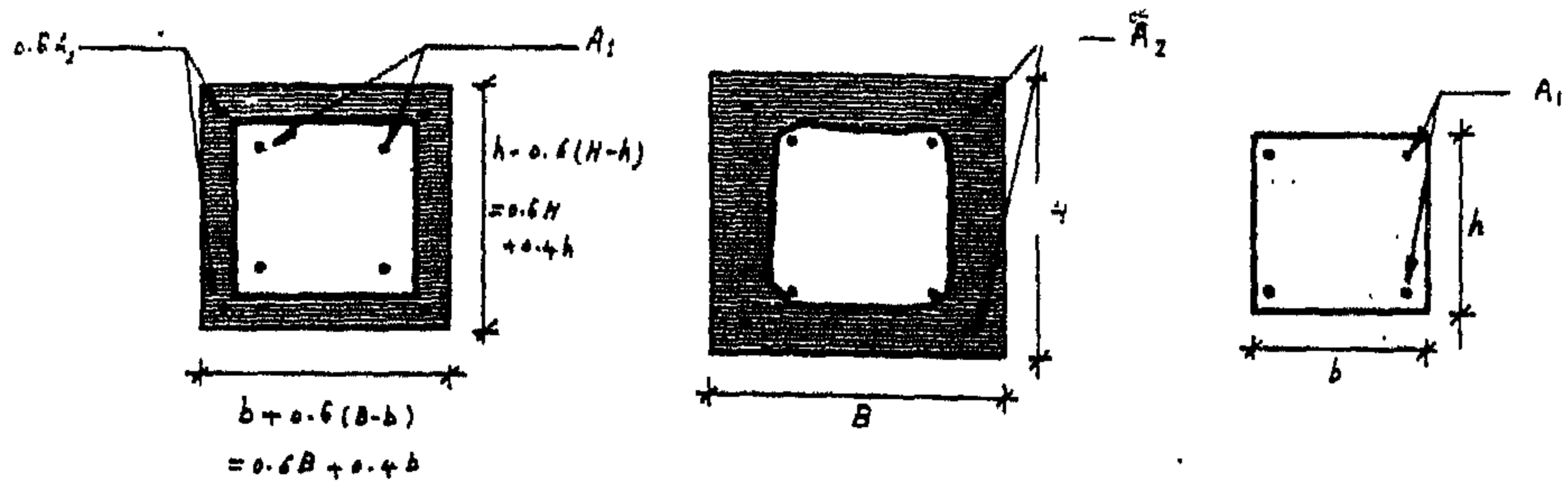
فى حالة عزوم مطلوب نقلها من البلاطة - أو الكمرة - إلى العמוד ، فإن الحلول المذكورة سابقا لا تصلح لأنها لا تقوم بنقل أى عزوم ، حيث إن صلب التسليح غير مستمر ، وفى حالة الرغبة فى زيادة قدرة العמוד على نقل العزوم توجد طريقتان :

١ - إضافة أسياخ تسليح فى العמוד تمتد فى البلاطة عن طريق عمل شقوق فيها ، ثم تملأ بعد ذلك بمونة لاحمة قوية - كالإيبوكسى .

٢ - الحل الأسهل والأرخص هو تركيب زوايا من الحديد مثبتة فى كل من العמוד والبلاطة بمسامير أو بالالصق - شكل (٦٨ / ٨) .

٦ / ٣ / ٦ - إزالة العמוד واستبداله :

فى حالة وصول التدهور لدرجة أن صلب التسليح قد أصاب الصدأ ، بحيث إن الأسياخ لم تعد تصلح للعمل أو أن هناك ميلا كبيرا فى العמוד لا يمكن إصلاحه فالحل أن يتم استبدال هذا العמוד بآخر سليم بعد نقل حملة على دعائم درفة وحتى الأساسات بإحدى الطرق المذكورة فى قسم (٦ / ١) .



شكل (٦٧ / ٨) طريقة حساب قدرة العמוד الجديد

٦ / ٤ - إصلاح وتقوية الكمرات :

٦ / ٤ / ١ - إضافة طبقة جديدة في منطقة الضغط - شكل (٦٩ / ٨) - :

وذلك بعمل طبقة جديدة أعلى الكمرة بها تسليح خفيف - ذاف لمقاومة الانكماش - وربطها بالخرسانة القديمة ، مع تخشين سطحها وتنظيفه قبل الصب ، وهذه الطبقة الجديدة لا تعمل مع الخرسانة الأصلية كقطاع واحد إلا في حالة نقل قوى القص بين السطحين بكفاءة ، وهناك عدة طرق لنقل هذه القوى منها :

١ - استخدام فجوات ربط (Concrete keys) بسطح الخرسانة القديمة - شكل (٦٩ / ٨ / أ) - مع دهان السطح بمادة تمسك قوية - كالإيبوكسي مثلاً .

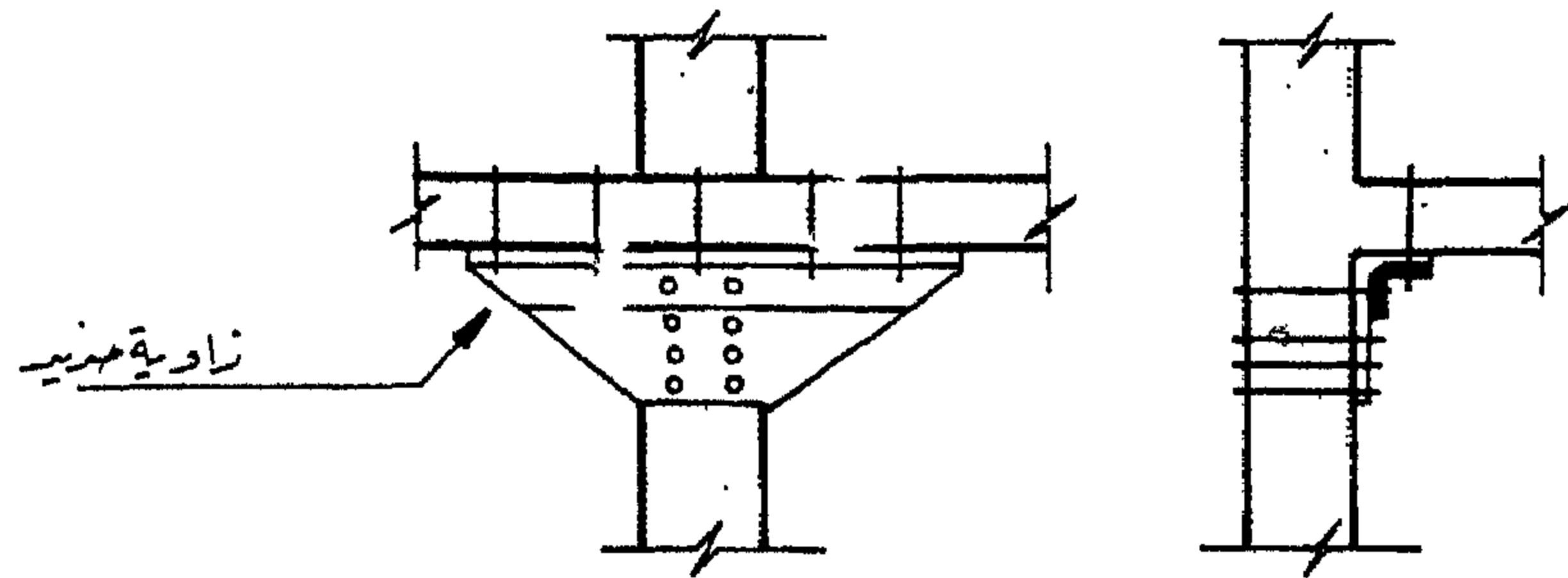
٢ - تثبيت الكانات الجديدة في الخرسانة القديمة عن طريق عمل ثقوب بها ، ثم ملء هذه الثقوب بمونة تثبيت مناسبة ، ويجب أن يكون طول التثبيت كافياً لنقل قوى القص - شكل (٦٩ / ٨ / ب) .

٣ - استخدام أربطة القص Shear dowels سواء على هيئة كانات مقفولة يتم ربطها بحديد الكمرة العلوى ، أو مسامير تدفع في الخرسانة القديمة عن طريق "سدس" - شكل (٦٩ / ٨) .

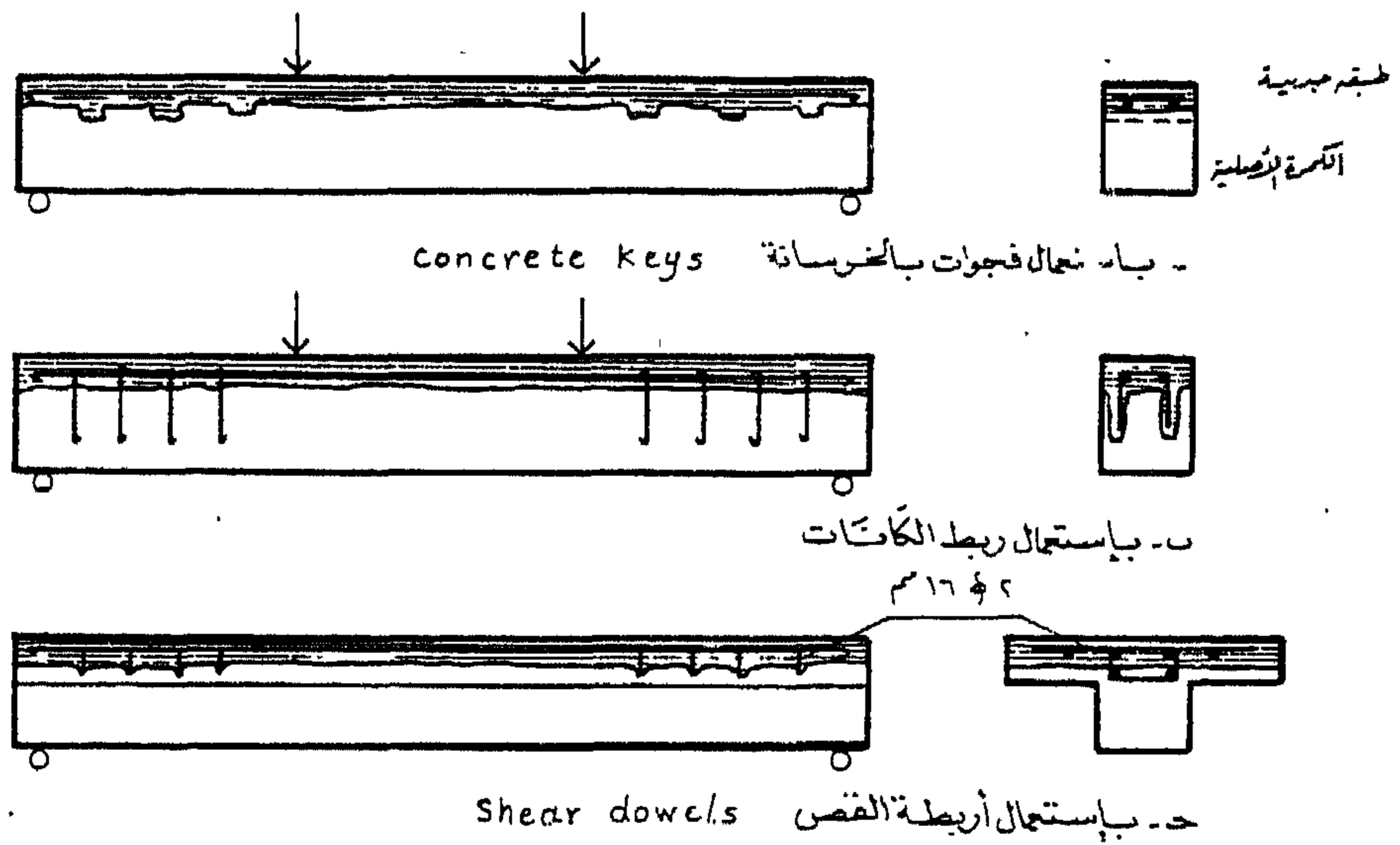
وتركيز الفجوات أو الأربطة يكون في منطقة القص العالى ، ولكن يستحسن وضع الحد الأدنى في باقى طول الكمرة ، حتى تعمل الطبقة الجديدة والخرسانة الأصلية كقطاع مركب واحد ، ويمكن أخذ كل مساحة القطاع الجديد في الاعتبار عند حساب قدرة الكمرة الجديدة إذا كانت كمقاومة القص للكانات أو المسامير تساوى أو أكبر من مقاومة الخرسانة الأصلية للقص ، ولذا يوصى بألا تقل مساحة هذه الأربطة عن ١٥ ٪ من مساحة سطح التماسك في حالة السطح الخشن وألا تقل عن ٤ ٪ من المساحة في حالة الخشونة المتوسطة .

٦ / ٤ / ٢ - زيادة عمق الكمرة :

وهذا سيؤدى إلى زيادة جساءتها Stiffness وزيادة قدرتها على تحمل الأحمال Strength في آن واحد ، وهناك عدة صور لزيادة عمق الكمرة حسب الحالة - كما يظهر في شكل (٧١ / ٨) .



شكل (٨ / ٦٨) طريق نقل العزوم من بلاطة إلى عامود



شكل (٨ / ٦٩) إضافة طبقة جديدة في منطقة الضغط وطرق نقل قوى القص

أ - فالكمرات غير المتصلة ببلاطة يمكن عمل قميص كامل لها - راجع قسم (٦ / ٤) .

ب - والكمرات المطلوب عدم زيادة عرضها يمكن إضافة طبقة سفلية لها - شكل (٨ / ٧٠ / ب) ويوصى فى هذه الحالة بربط الكانات الجديدة فى منطقة الضغط إن أمكن .

ج - والكمرات المتصلة ببلاطة يمكن عمل قميص لها من ثلاث جهات وربط الكانات عن طريق عمل ثقوب فى الكمرة فى منطقة محور التعادل (N. A) ، وهذا القميص يوفر حماية للكمرة من الجو المحيط ، بالإضافة إلى زيادة عمقها وعرضها .

د - والكمرات المعرضة لعزوم سالبة عالية يمكن عمل قميص لها من ثلاث جهات ، بالإضافة إلى طبقة خرسانة جديدة فى منطقة الضغط ، وفى هذه الحالة يتم ثقب البلاطة لتثبيت الكانات فى الحديد العلوى الجديد - شكل (٨ / ٧٠ / د) .

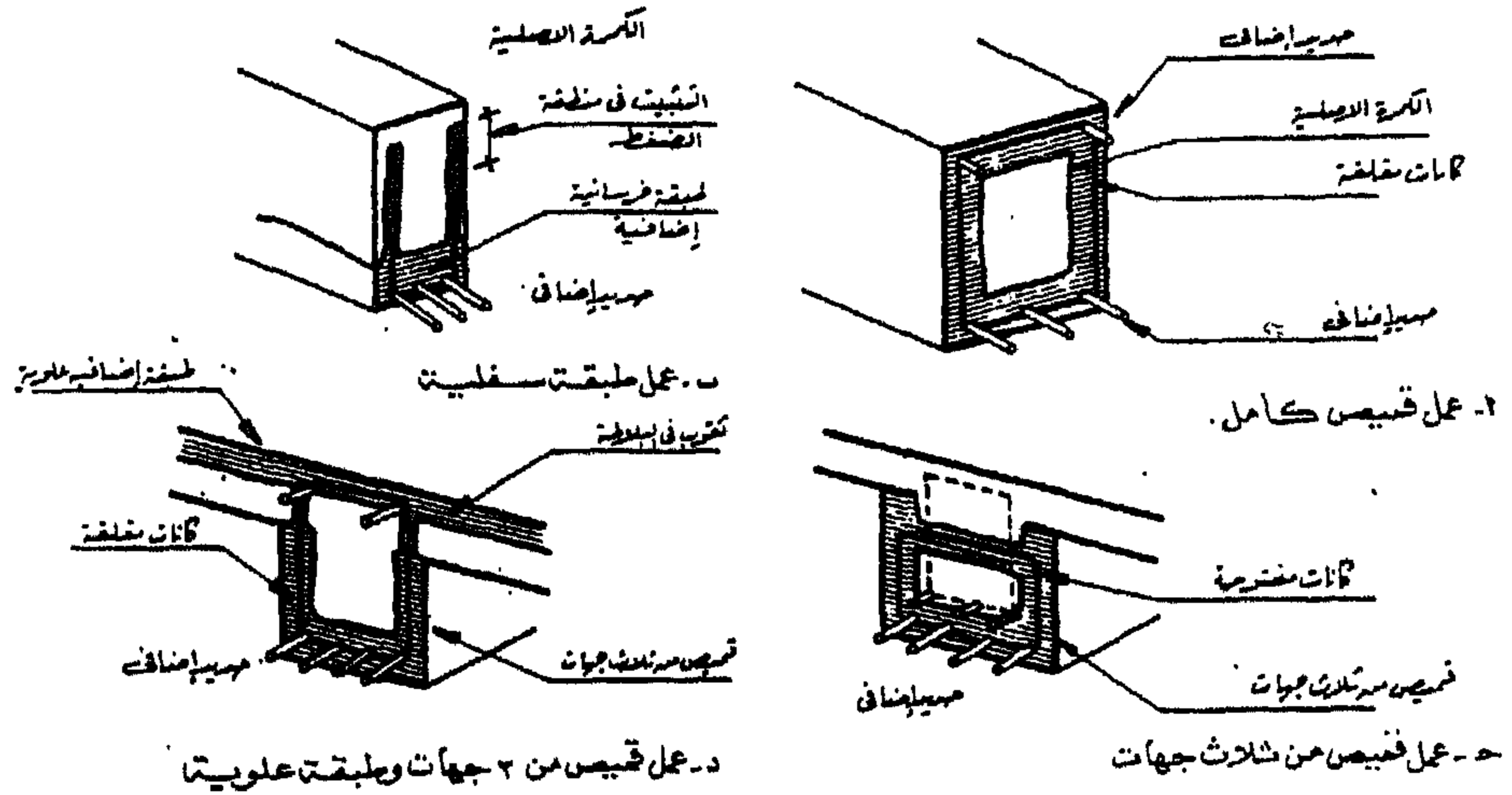
٦ / ٤ / ٣ - زيادة تسليح الشد :

ويتم ذلك بإحدى طريقتين :

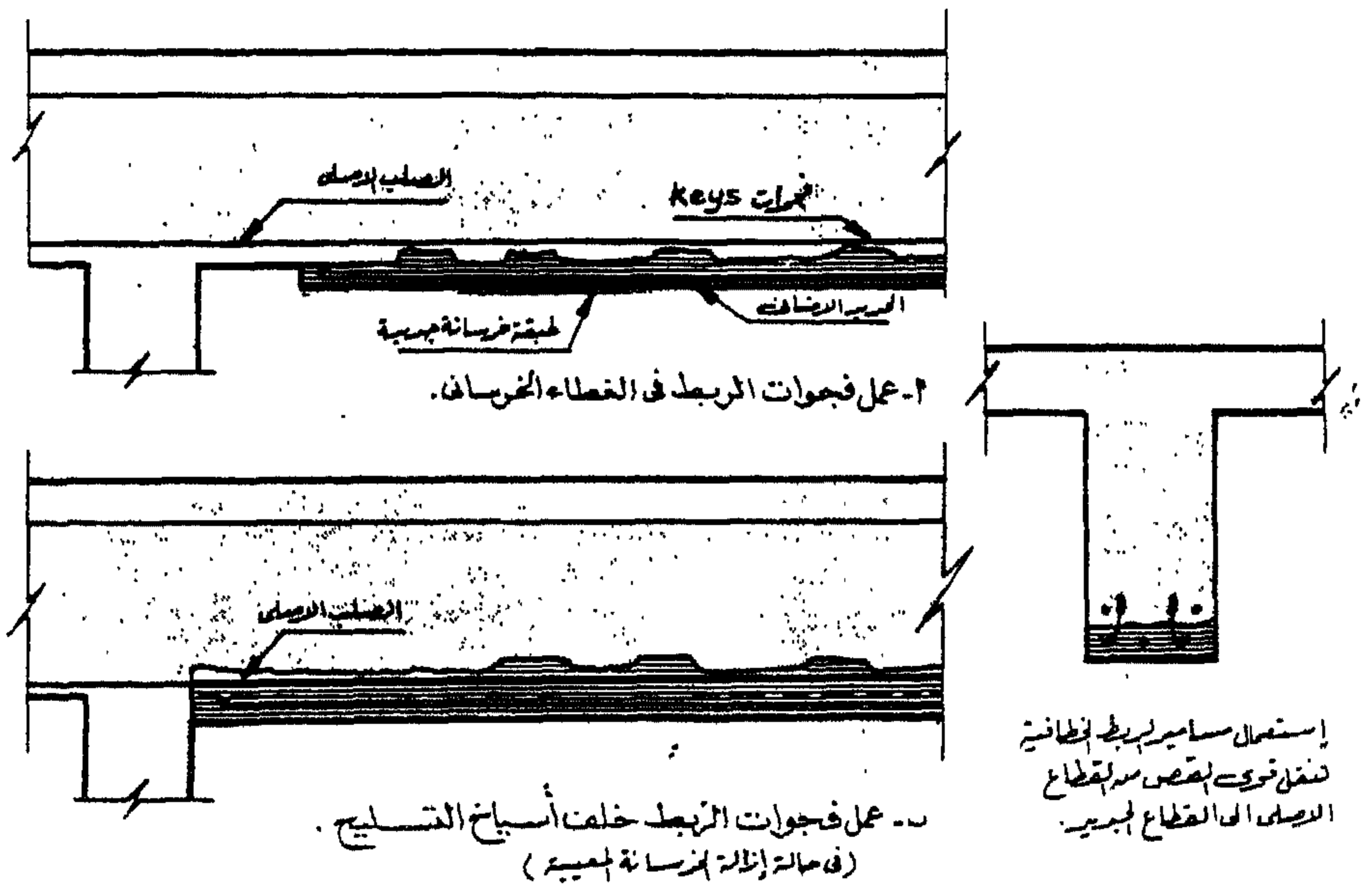
١ - إضافة أسياخ تسليح فى منطقة الشد : حيث يتم إزالة الغطاء الخرساني وتنظيف الصلب الأصلي تماما ، وعمل فجوات الربط Keys إما أسفل أسياخ التسليح الأصلية أو أعلاها - فى حالة إزالة خرسانة معيبة أعلى الأسياخ - وتخشين السطح ثم تثبيت مسامير الربط الخطافية - شكل (٨ / ٧١) - ويوضع التسليح الجديد عليها ، ويغطى بطبقة من الخرسانة بطريقة الرش Sprayed concrete .

٢ - إضافة ألواح من الصلب فى منطقة الشد : وتستعمل فى حالة الرغبة فى تقوية القطاع مع عدم وجود صدأ فى الصلب الأصلي ، وفيها يتم تثبيت ألواح الصلب على سطح الخرسانة السفلى سواء بمسامير الصلب أو باللصق - راجع قسم (٥ / ٣ / ٢) - وقد تستعمل قطاعات الحديد المدلفن - كالحجارى Channels والزوايا - شكل (٨ / ٧٢) .

ويجب أن تفوق قوة التصاق الألواح بالخرسانة مقاومة الخرسانة للقص ، كما يجب أن يكون سمك مونة اللصق أقل ما يمكن ، ويستحسن استعمال مسامير صلب كل مسافة



شكل (٨ / ٧٠) الطرق المختلفة لزيادة عمق الكمرة



شكل (٨ / ٧١) إضافة أسياخ تسليح في منطقة الشد

في حالة التثبيت باللصق تحسبا لخطر فقد الالتصاق في حالة الحريق مثلا .

ووصل الألواح يكون بالتبادل بحيث لا تقل المسافة بين الوصلات عن ٥٠ سم ، أو تستعمل قطعة لوح لوصل لوحين بطول لا يقل عن ٦٠ سم - شكل (٧٣ / ٨) - ويمكن أن تكون الألواح بكامل طول الكمرة أو في منطقة العزوم القصوى فقط .

وقد أجريت عديد من التجارب على تقوية الكمرات بألواح الصلب (١٩) ، فالتجارب المبينة في شكل (٧٤ / ٨) أجريت لدراسة تأثير عرض وسمك اللوح مع تثبيت مساحة سطح التماسك ، وأظهرت النتائج العملية أن الألواح العريضة الرفيعة أفضل من الألواح السميكة الأقل عرضا ، والتجارب المبينة في شكل (٧٥ / ٨) كان الغرض منها دراسة تقوية الكمرات على شكل حرف (T) سواء في الشد أو القص ، وأظهرت التجارب أن هذه الكمرات تنصرف كالأعضاء الخرسانية العادية ذات مساحة الصلب الإضافية في الشد والقص ، سواء تحت تأثير الأحمال الاستاتيكية أو المتكررة ، والتجارب في شكل (٧٦ / ٨) أجريت لدراسة تأثير عدد الألواح وطولها على شكل الكسر وحمل الكمرة الأقصى ، وكانت نتائجها أن زيادة تسليح الشد يجعل الانهيار يتغير من انهيار نتيجة الانحناء إلى انهيار نتيجة القص ، كما أن عدم وصول الألواح إلى الركائز مع ضعف تسليح القص يضعف تأثير التدعيم .

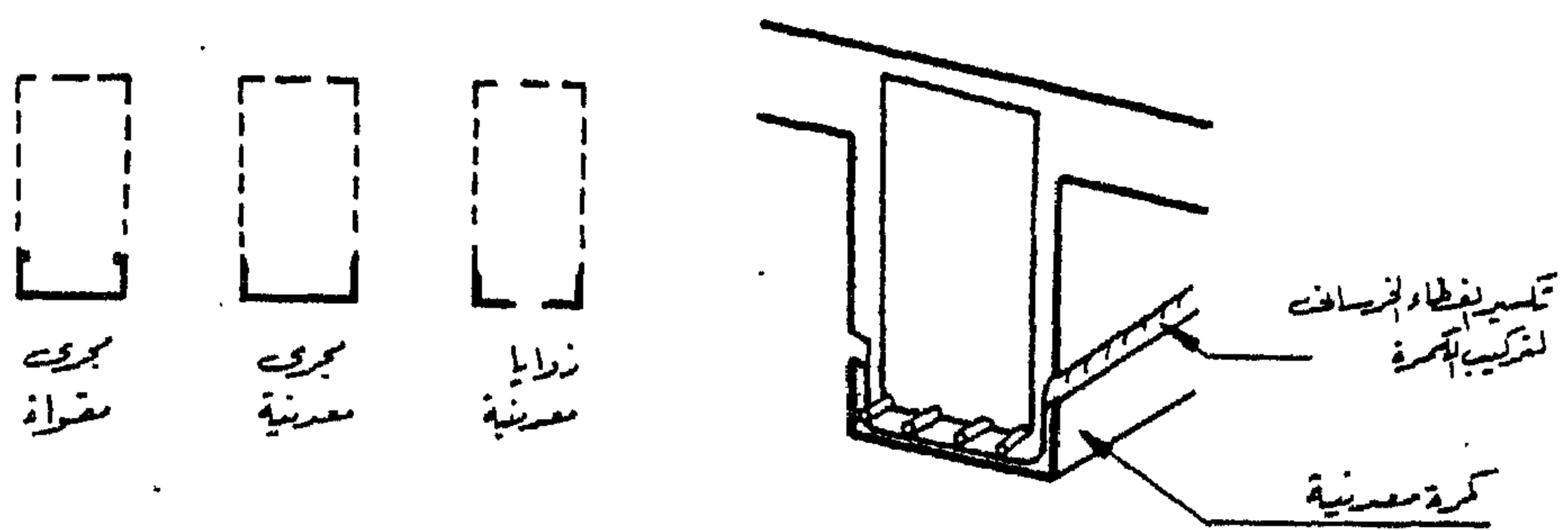
والخلاصة : أنه يمكن تقوية الكمرات بإضافة تسليح ، سواء على هيئة أسياخ أو ألواح من الصلب واتباع الأساليب السليمة يمكن الاستفادة من مساحة التسليح الإضافي كلها عند حساب قدرة الكمرات المقواة .

٦ / ٤ / ٤ - زيادة تسليح القص (واللى) :

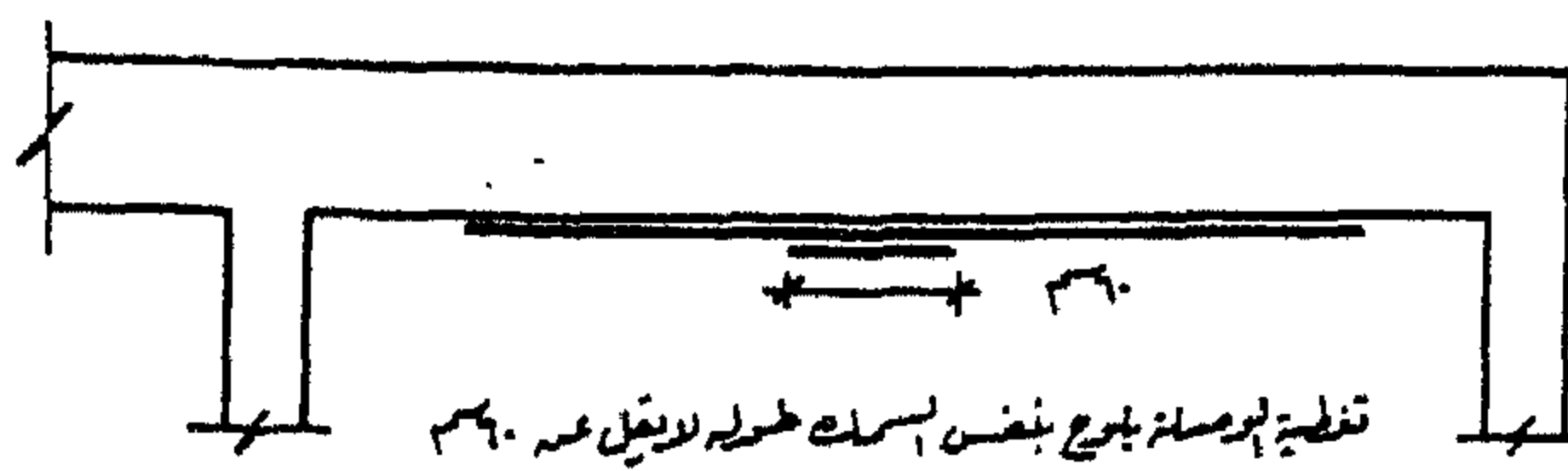
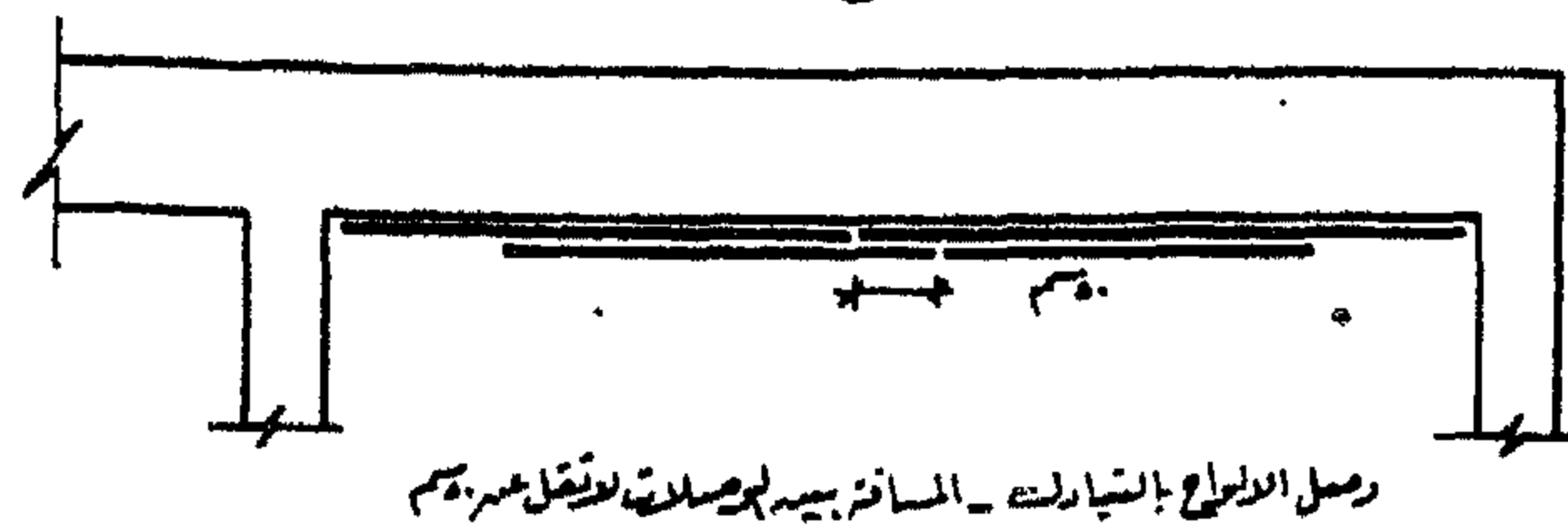
ويمكن زيادة مقاومة الكمرات لقوى القص (واللى) بإحدى ثلاثة طرق :

١ - إضافة كانات خارجية :

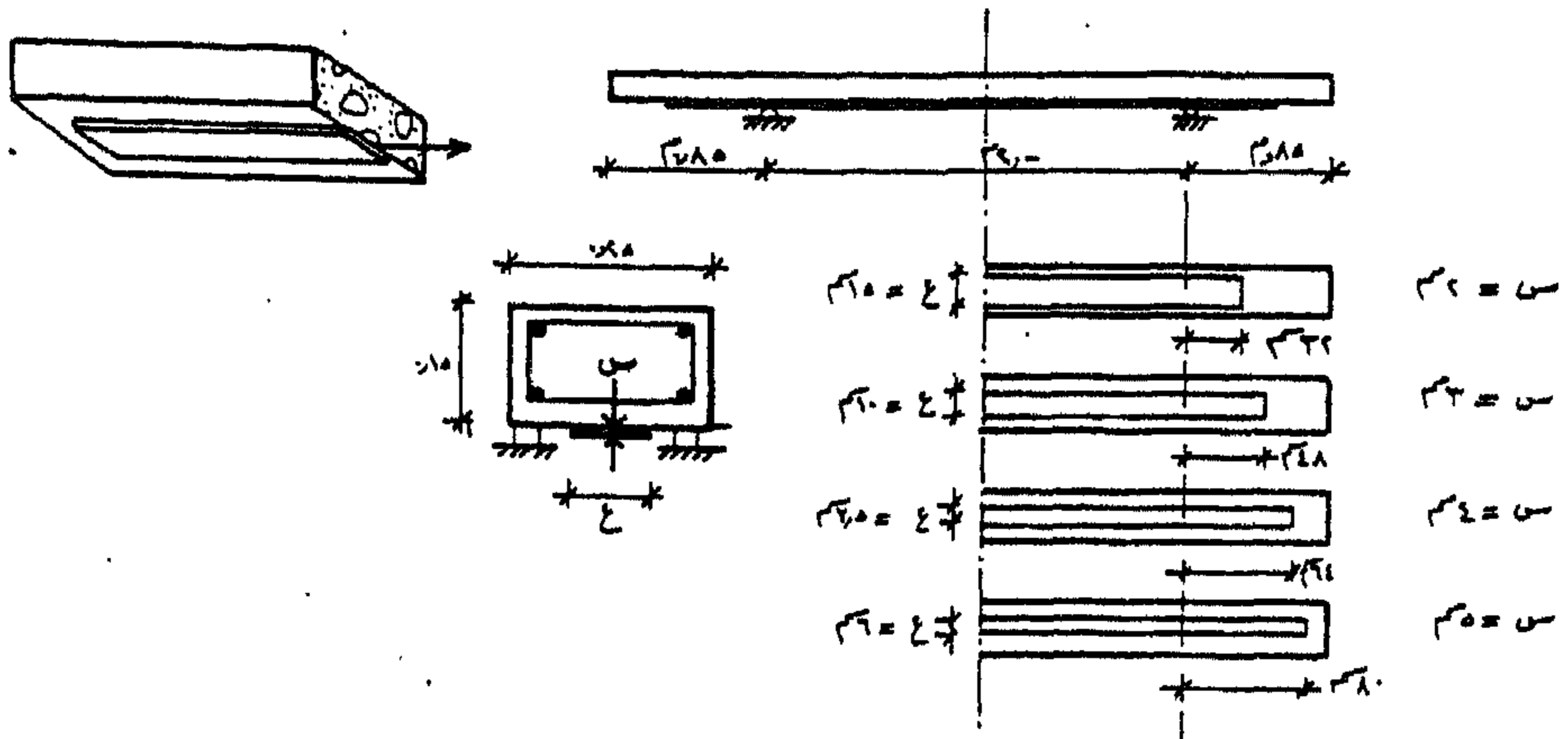
وهي أساسا من مسامير الصلب عالية المقاومة ، ويتم تثبيتها على الكمرة بواسطة ألواح وزوايا من الصلب باستعمال الصواميل أو عن طريق قطاعات من الحديد المدلفن - مثل المجارى Channels - باستعمال اللحام أو عن طريق بلوكات تثبيت من الحديد أو الخرسانة - إذا كان الشكل النهائي مقبولا - شكل (٧٧ / ٨) - ويجب حماية هذه المسامير وألواح وزوايا التثبيت من الصدأ عن طريق الدهانات المناسبة أو تغليفها بالخرسانة .



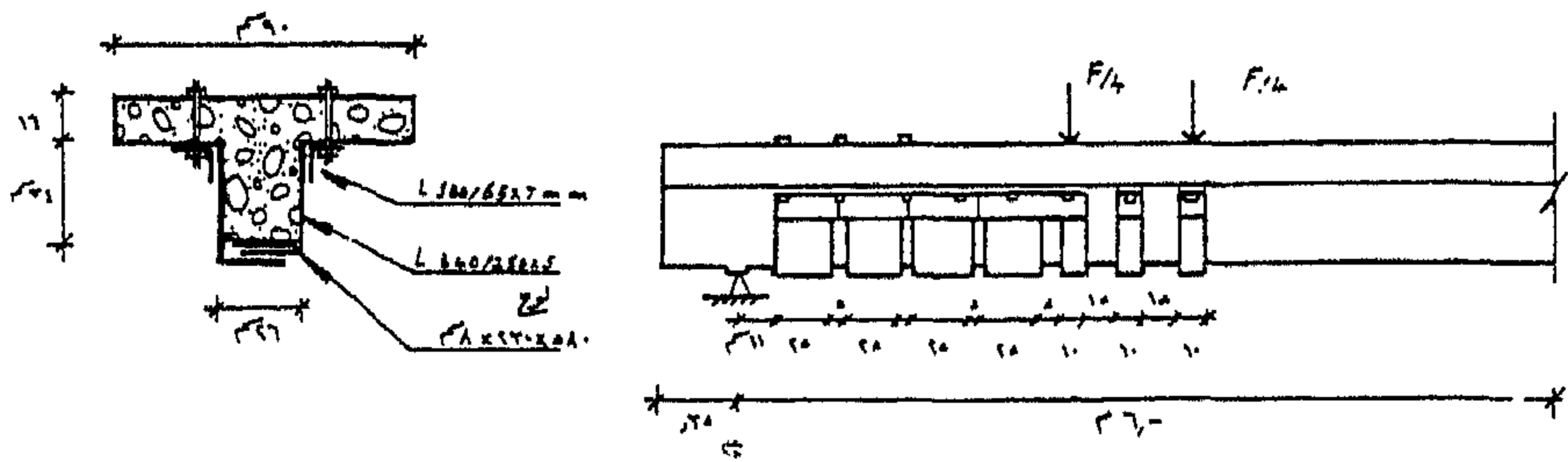
شكل (٧٢ / ٨) زيادة تسليح الشد عن طريق إضافة كمر معدنية



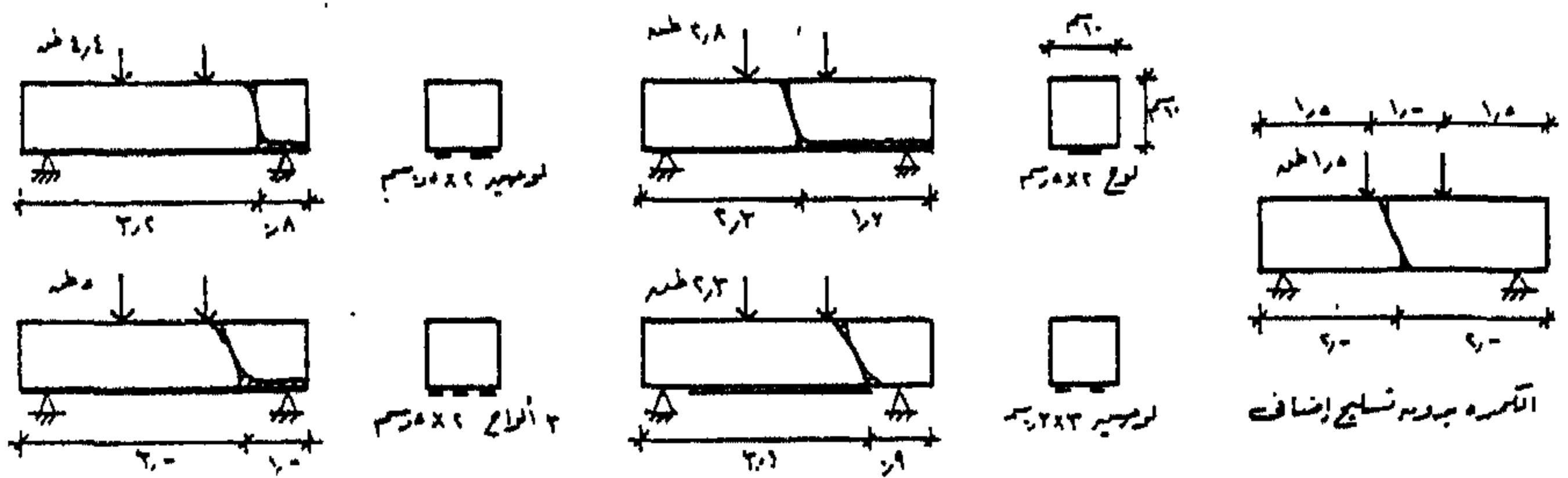
شكل (٧٣ / ٨) لحام الألواح على بطنية الكمر وطريقة وصلها



شكل (٧٤ / ٨) تجارب لحام الألواح في الكمرات المستطيلة (٢٤)



شكل (٨ / ٧٥) تجارب لحام الألواح فى الكمرات على شكل حرف T (٢٤)



شكل (٨ / ٧٦) تأثير عدد الألواح وطولها على شكل الكسر وحمل الكسر (٢٤)

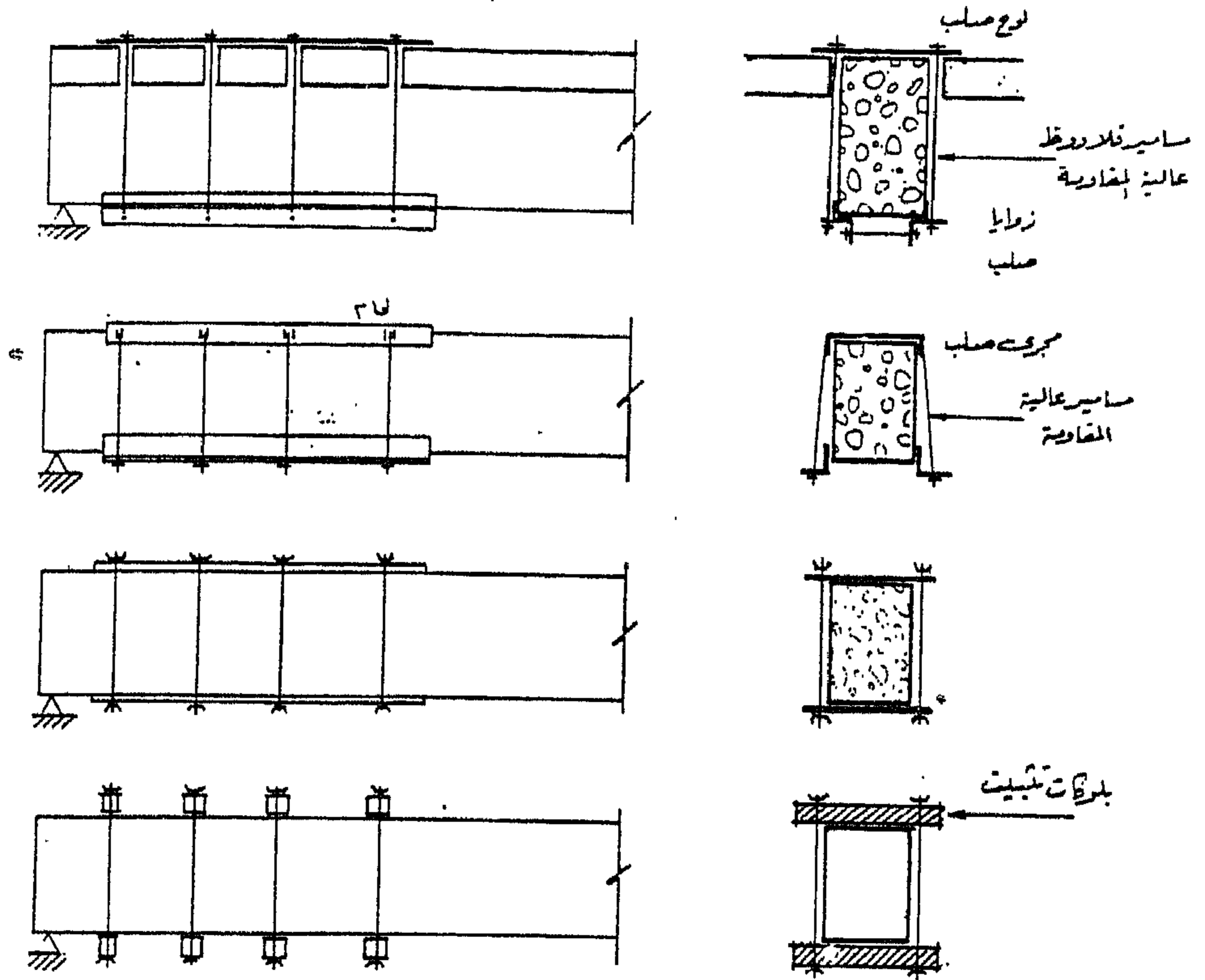
٢ - استخدام ألواح الصلب :

وقد تستخدم شرائح من ألواح الصلب يتم لحامها على جانبي الكمره - راجع قسم (٢ / ٣ / ٥) - أو قطاعات من الصلب يتم ربطها فى الكمره بمسامير قلاووظ - شكل (٨ / ٧٨) .

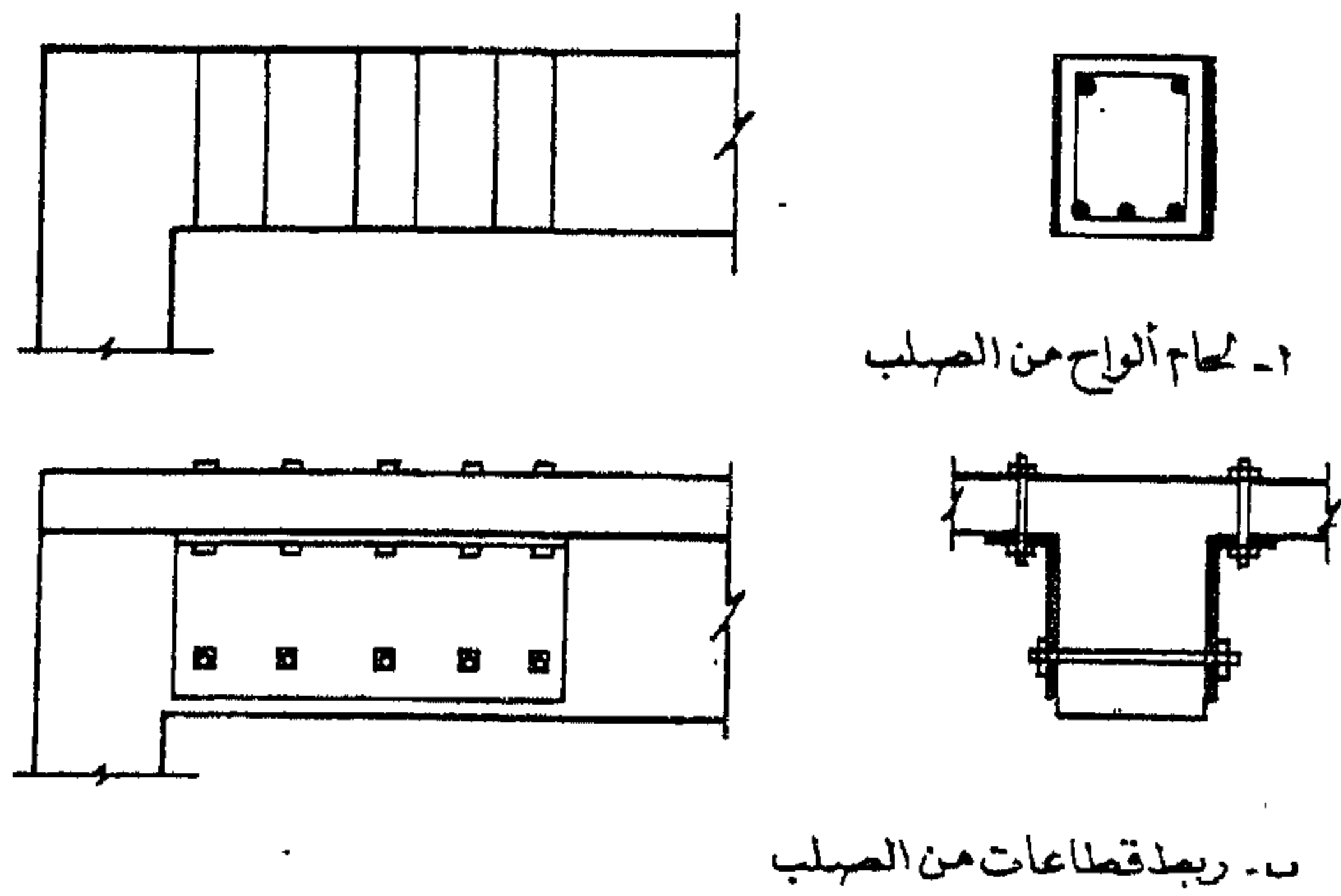
٣ - تغليف الكمره بالخرسانة (القمصان) :

وسواء كان القميص كاملاً أو من ثلاث جهات - شكل (٨ / ٧٠) - فإنه يؤدي إلى زيادة قطاع الكمره - طولاً وعرضاً - مما يؤدي إلى زيادة قدرتها على تحمل قوى القص الزائدة .

كما يمكن إصلاح الشروخ الناشئة عن قوى قص عالية ، إما باستخدام القميص فى منطقة القص العالى أو باستخدام الضغط الخارجى عن طريق الشد اللاحق - Post-tensioning - شكل (٨ / ٧٩) .



شكل (٨ / ٧٧) الطرق المختلفة لزيادة تسليح القص عن طريق كانات خارجية



شكل (٨ / ٧٨) زيادة تسليح القص عن طريق ألواح وقطاعات الصلب

٦ / ٤ / ٥ - إضافة قطاعات من الحديد Composite construction :

ويمكن تقوية الكمرات بإضافة قطاعات من الحديد إليها فتتكون كمرة مركبة من الحديد والخرسانة ، ويعتمد توزيع الأحمال والإجهادات في هذه الكمرة المركبة على عدة عوامل ، أهمها طريقة نقل قوى القص بين القطاع الخرساني والقطاع الحديدي ، ويمكن عن طريق إضافة قطاعات من الحديد زيادة عمق الكمرة أو زيادة تسليحها السفلي فقط - شكل (٨ / ٨٠) - ولكي يعمل القطاعان معا كقطاع واحد يجب أن تكون مسامير الربط كافية لنقل قوى القص .

٦ / ٤ / ٦ - استخدام الشد الخارجي Poststressing :

إن استخدام الشد اللاحق يؤدي إلى استحداث قوى ضغط تعمل على تقليل إجهادات الانحناء في الكمرة ، وكذلك تؤدي إلى تقليل الترخيم ، وتأثير الشد اللاحق على الترخيم وزيادة قدرة الكمرة على تحمل الأحمال يتغير باختيار مسارات وأماكن مختلفة لكابلات الشد وكذلك أماكن تثبيتها - شكل (٨ / ٨١) - والحسابات اللازمة لتحديد هذه الأماكن وتحديد قوة الشد المطلوبة مماثلة لطريقة حساب الكمرات سابقة الإجهاد .

واختيار نظام الشد اللاحق الذي يمكن استخدامه يعتمد إلى حد كبير على المساحة المتاحة لتثبيت نهايات الكابلات ، وهناك نظامان يمكن استخدام أحدهما حسب الحالة : النظام المتناسك مع الكمرة الأصلية ، والنظام غير المتناسك معها وإنما يتصل بها في النهاية فقط .

وفي حالة عدم وجود مساحة كافية لتثبيت الكابلات (Anchorage) فإن طرق التثبيت المستخدمة في الخرسانة سابقة الإجهاد يمكن استبدالها بقطاعات خاصة من الصلب معدلة لغرض التثبيت ، ويجب إعطاء عناية خاصة للقوى التي ستنشأ في منطقة التثبيت .

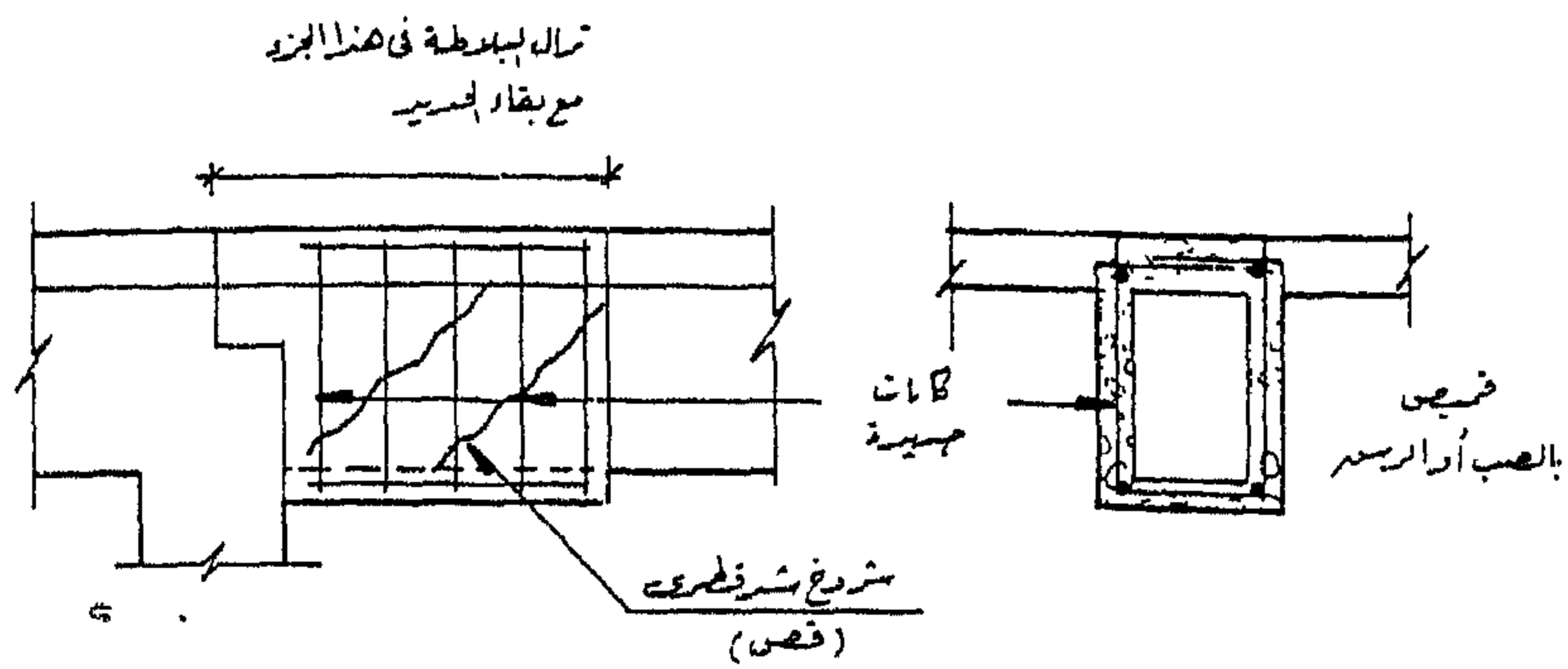
وتجرى حماية كابلات الشد اللاحق من الحريق والصدأ كما هو منصوص عليه في المواصفات ، وتولى عناية خاصة للكابلات المركبة على الكمرة من الخارج - شكل (٨ / ٨٢) .

٦ / ٤ / ٧ - تخفيض بحر الكمرة :

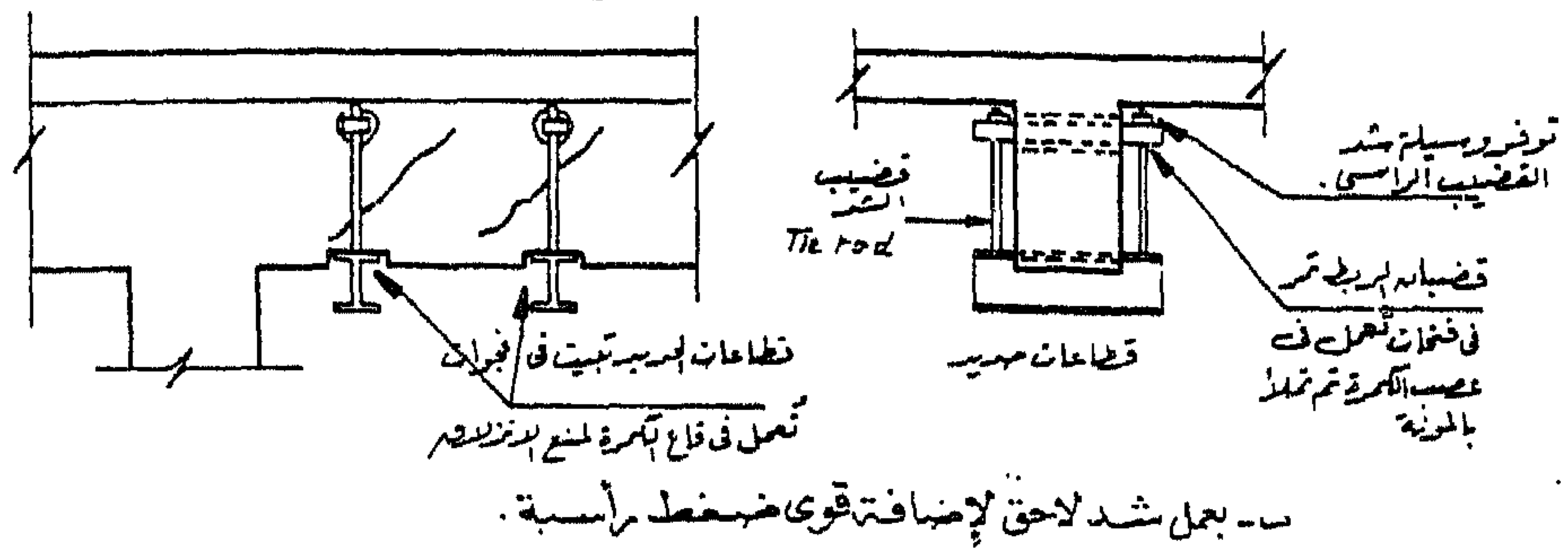
ويمكن تخفيض بحر الكمرة بزيادة عرض الركيزة كما في شكل (٨ / ٨٣) .

٦ / ٤ / ٨ - تقوية الكوابيل :

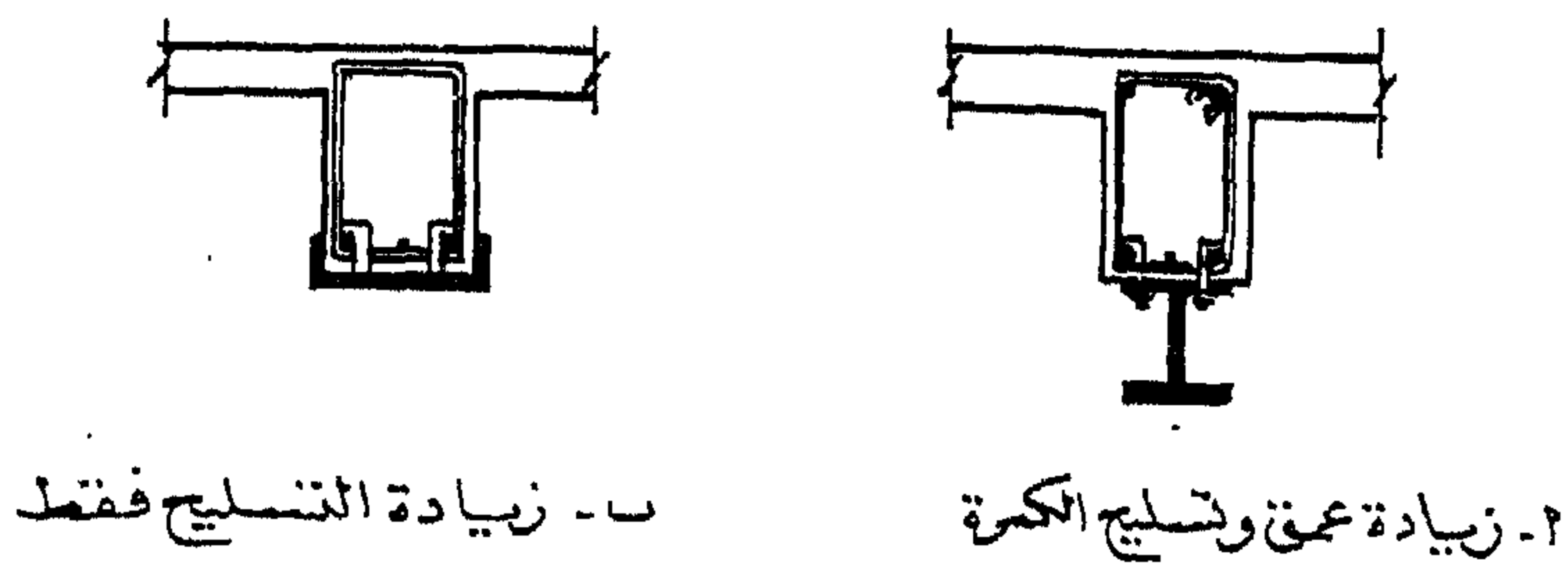
ويتسم ذلك باستعمال تسليح خارجي أو عمل دعامة أو عامود إضافي - انظر شكل (٨ / ٨٤) .



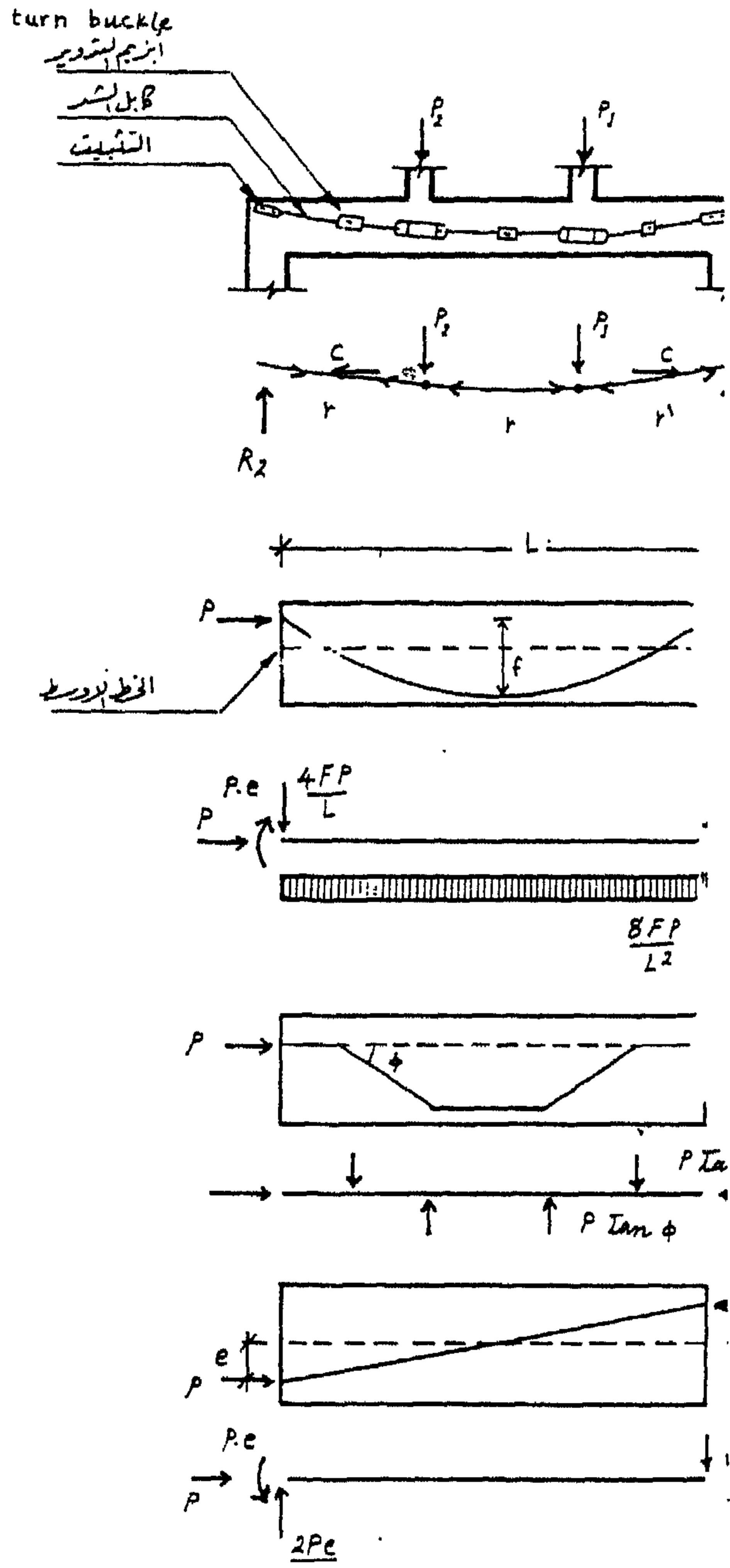
٢- بعمل قسيس للكسرة في منطقة شروخ القوس.



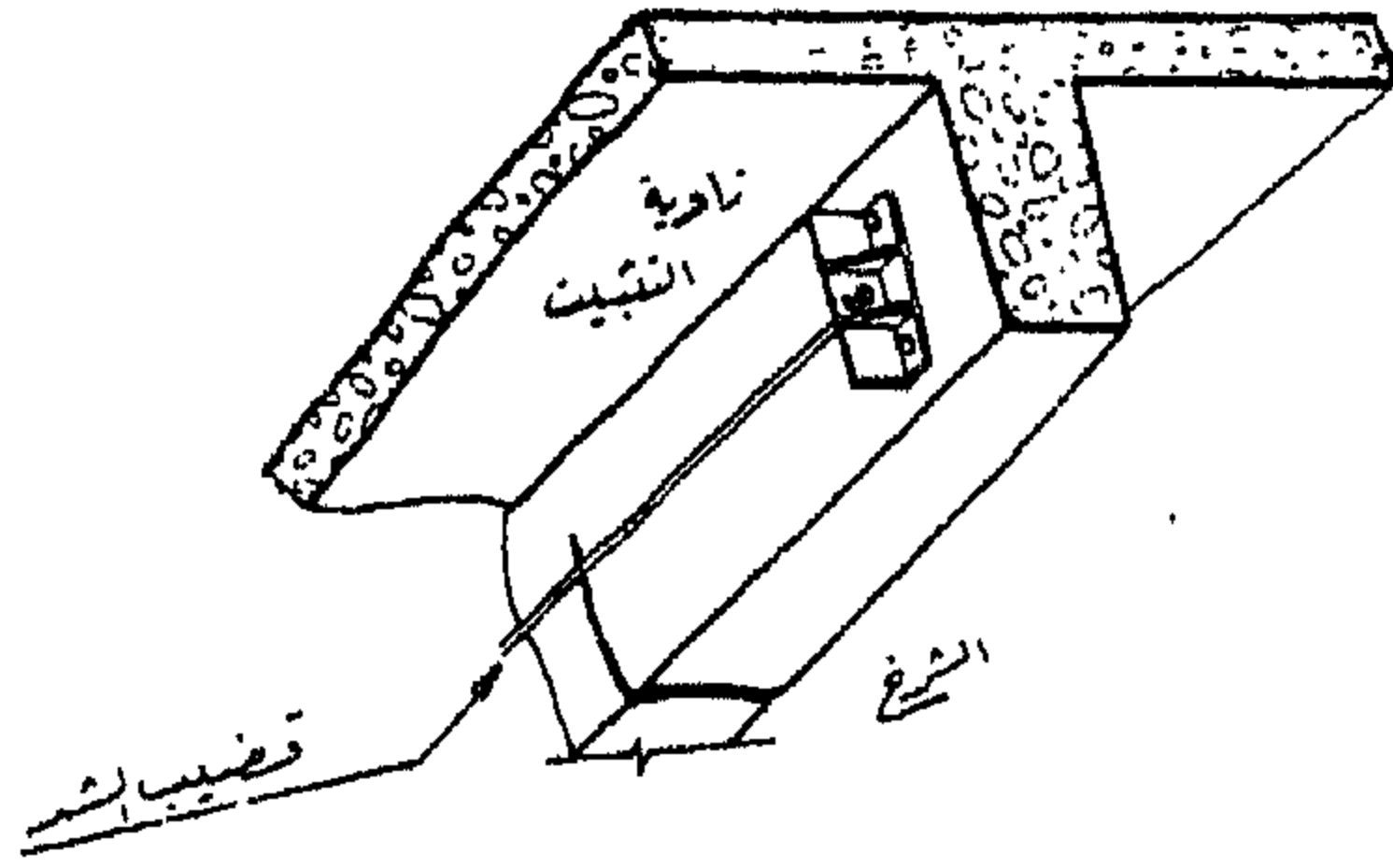
شكل (٨ / ٧٩) إصلاح الشروخ القطرية (شروخ القوس)



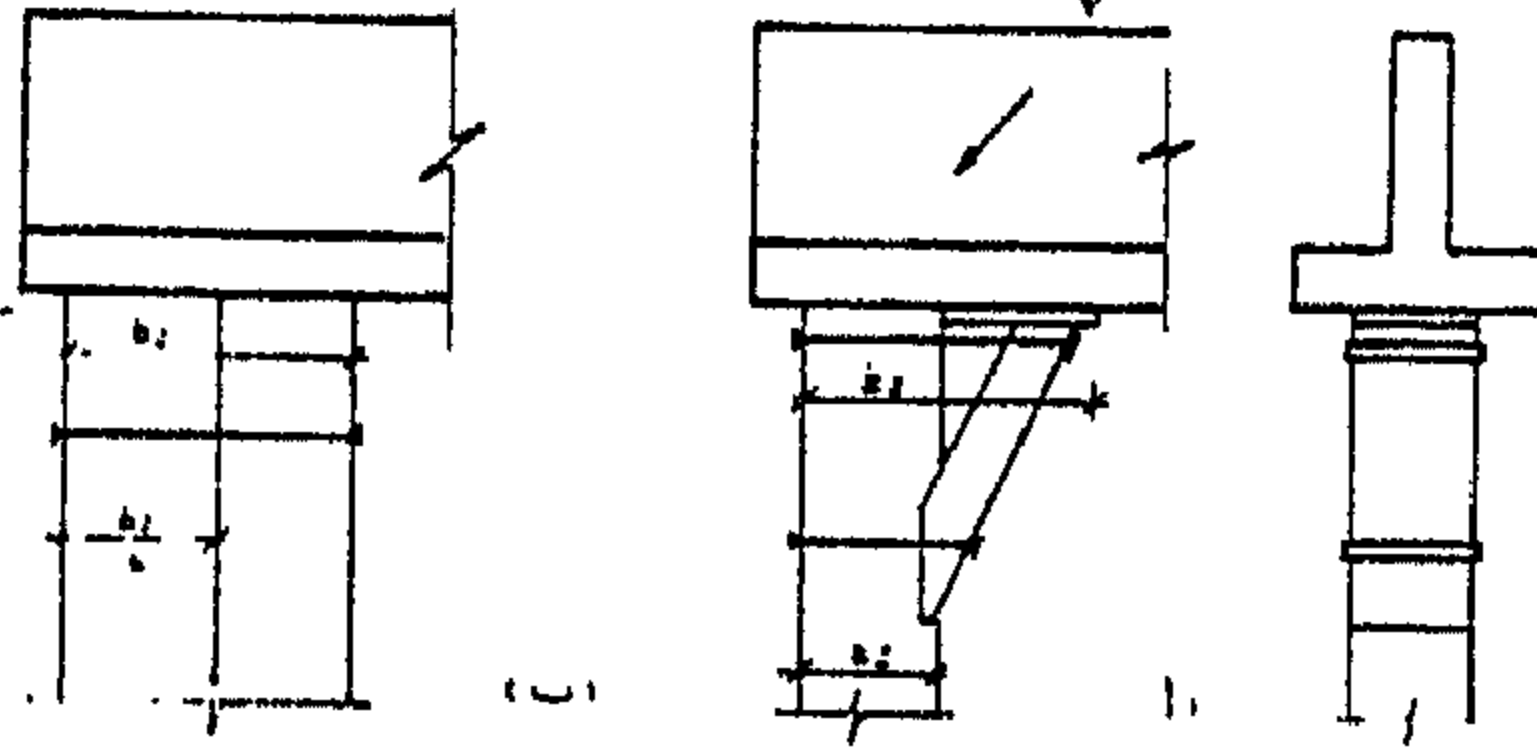
شكل (٨ / ٨٠) إضافة قطاعات من الحديد



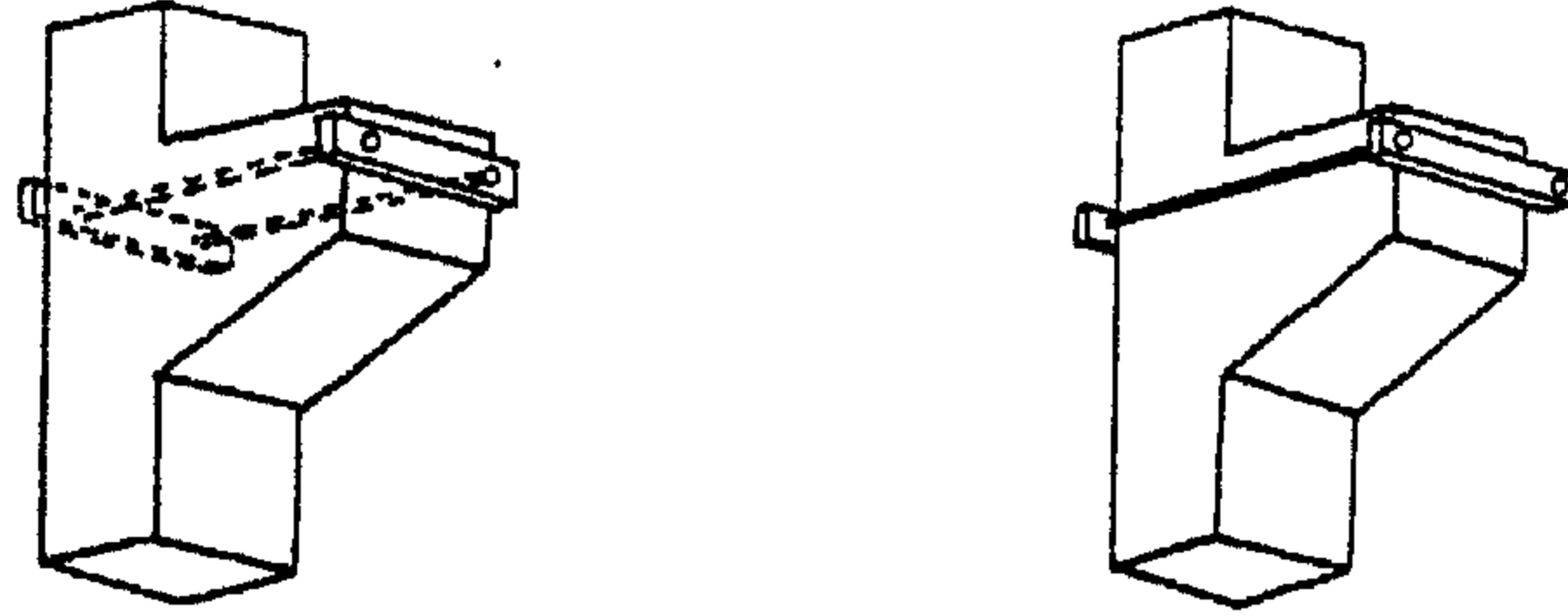
شكل (٨ / ٨١) أمثلة على تأثير شكل ومكان كابل الشد
اللاحق على القوى والعزوم في الكمرة



شكل (٨ / ٨٢) إصلاح شروخ الكمرات عن طريق الشد الخارجي

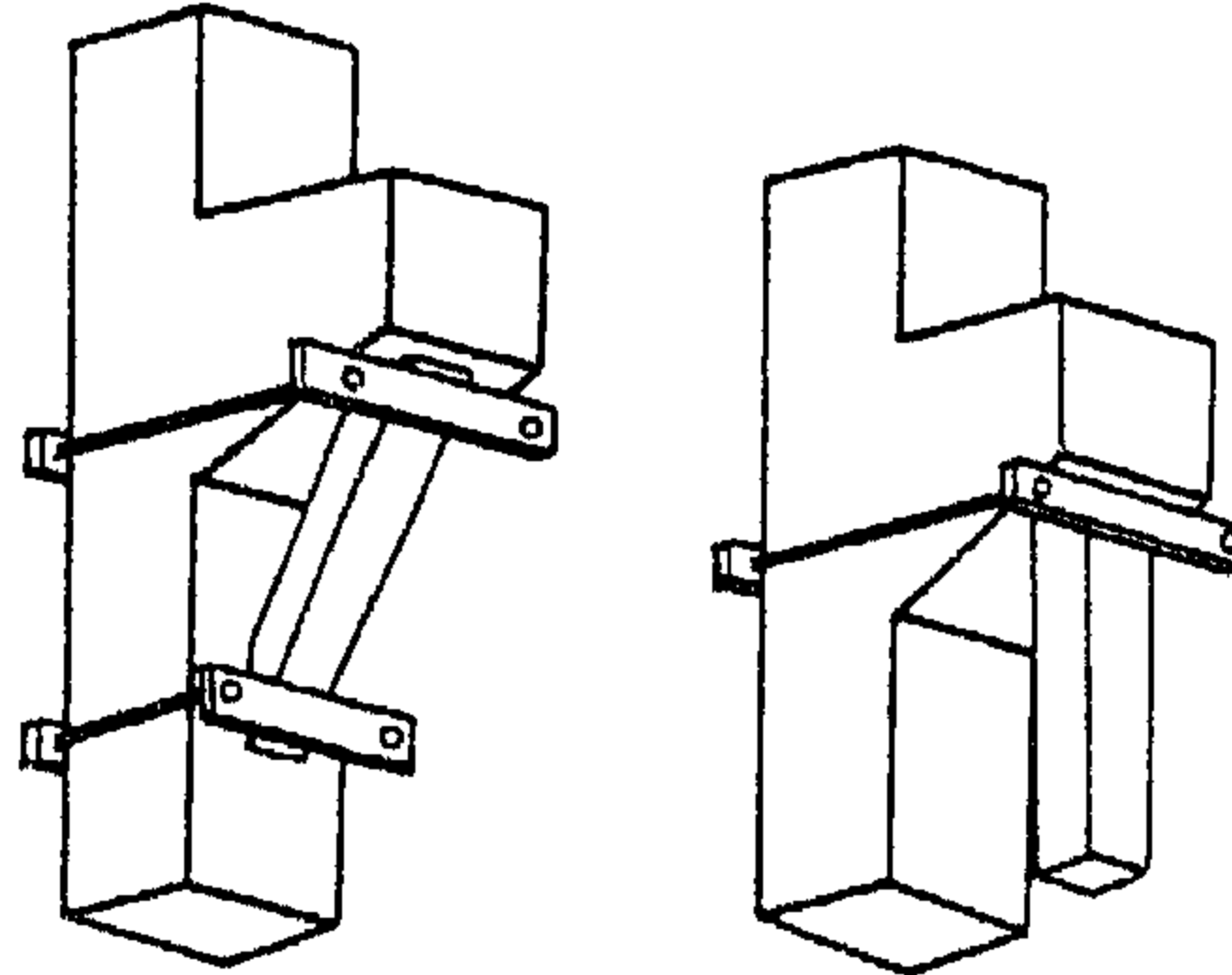


شكل (٨ / ٨٣) تخفيض بحر الكمرة بزيادة عرض الركيزة



ب - باستعمال قضيب داخلي من حديد لولبي

٢ - باستعمال قضيب خارجي



أود عمامة مائلة

ج - إزالة التحميل - عن طريق عامود إضافي

شكل (٨ / ٨٤) تقوية الكوابيل

٦ / ٥ - إصلاح وتقوية البلاطات :

٦ / ٥ / ١ - إصلاح العيوب والشروخ :

الإصلاحات غير الإنشائية والتي تشمل إصلاح تساقط الخرسانة وإصلاح الشروخ سبق التعرض لها فى قسم (٤ / ٣) من هذا الباب ، أما إذا وصل الأمر إلى الحاجة إلى إصلاح إنشائى ، أى أن البلاطة لم تعد قادرة على تحمل الأحمال الواقعة عليها بأمان فإن الطرق الآتية تستخدم فى الإصلاح الإنشائى :

٦ / ٥ / ٢ - إضافة طبقة من الخرسانة المسلحة :

الغرض :

- ١ - زيادة عمق القطاع الخرسانى لزيادة قدرته على تحمل الأحمال .
- ٢ - إضافة شبكة من صلب التسليح لتعويض الحديد الذى تعرض للصدأ .
- ٣ - سد الشروخ السطحية وعلاج تساقط الخرسانة .
- ٤ - حماية الخرسانة من الظروف المحيطة المحتوية على مواد ضارة .

الطريقة :

هناك طريقتان لإضافة طبقة جديدة من الخرسانة المسلحة ، ولكل منها مميزاتا وعيوبها :

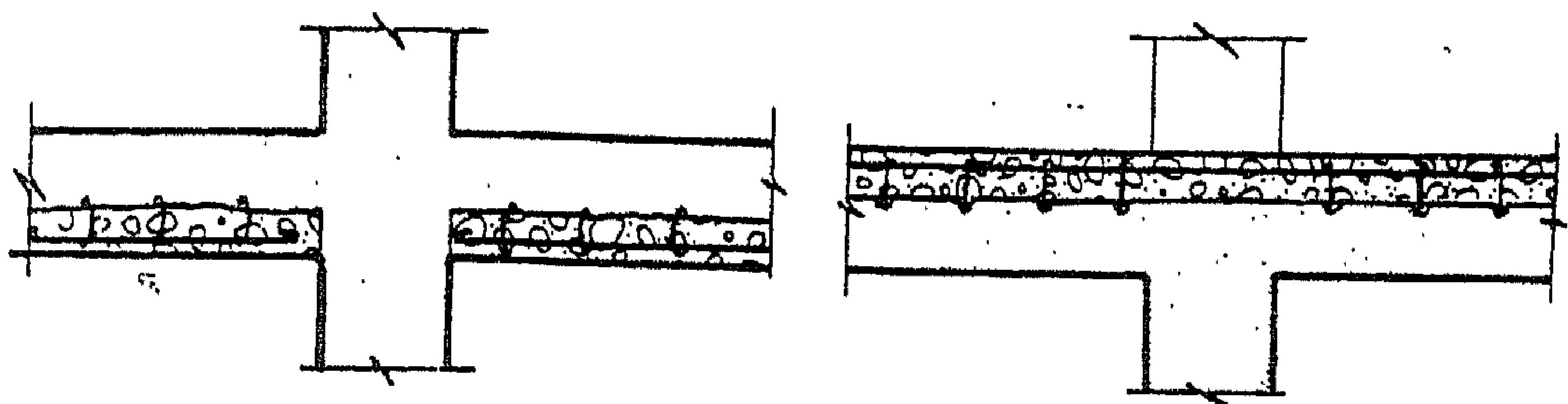
- ١ - إضافة طبقة جديدة أعلى الخرسانة الأصلية .
- ٢ - إضافة طبقة جديدة أسفل الخرسانة الأصلية .
- ١ - إضافة طبقة جديدة أعلى الخرسانة الأصلية - شكل (٨ / ٨٥) - :

المميزات :

- ١ - سهولة الصب والدمك وتسوية السطح .
- ٢ - مقاومة الغزوم السالبة المرتفعة .

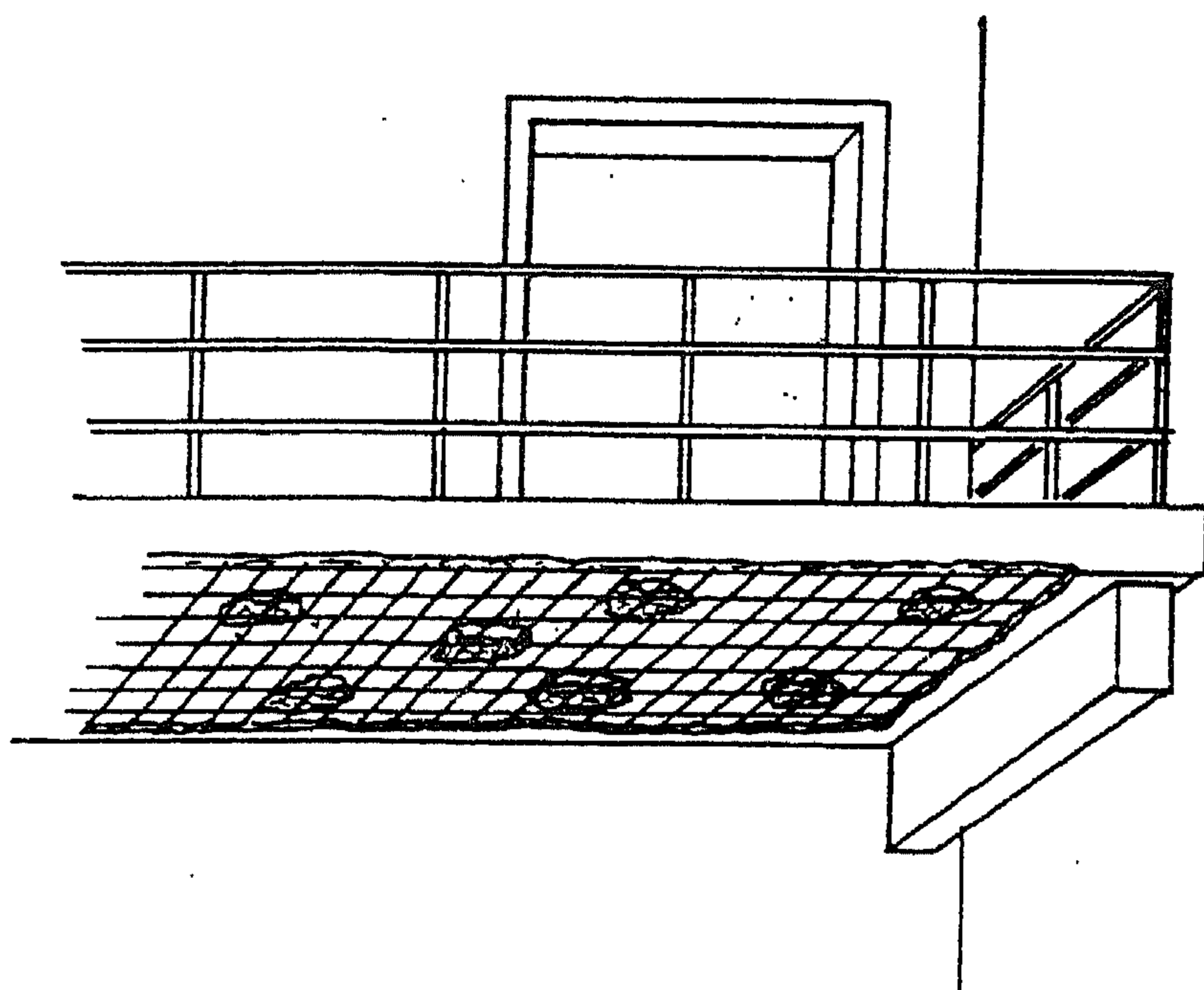
العيوب :

- ١ - الطريقة تتطلب إزالة الأرضيات فوق السقف المراد إصلاحه ، وهذا يصعب



شكل (٨٥ / ٨) إضافة طبقة علوية
لمقاومة العزوم السالبة

شكل (٨٦ / ٨) إضافة طبقة سفلية
لتعويض حديد التسليح وحمالته



شكل (٨٧ / ٨) عمل ثقوب في بلاطة البلكونة لصب
الخرسانة الجديدة ودمكها من أعلى

عمله فى كثير من الحالات .

٢ - لو لم يتم ربط الخرسانة الجديدة بالقديمه ربطا جيدا فإن الطبقة الجديدة ستشكل حملا جديدا على السقف المتصدع .

٣ - تقليل الارتفاع النظيف للدور .

٤ - عدم توفير الحماية المطلوبة لصلب التسليح وعدم القدرة على استبدال الحديد المعبى ، حيث إن الطبقة الجديدة تضاف من أعلى .

الطريقة :

١ - يتم إعداد السطح بزمرته وتنظيفه جيدا .

٢ - يزود سطح التماسك بمسامير قص (Shear connectors) إما بالدفع - باستخدام مسدس خاص بذلك - أو بعمل ثقوب وملئها بمادة لاحمة .

٣ - توضع شبكة تسليح خفيفة - الحد الأدنى اللازم للانكماش .

٤ - يتم صب الخرسانة ودمكها وتسويتها ومعالجتها بالطرق العادية .

٢ - إضافة طبقة جديدة أسفل الخرسانة الأصلية - شكل (٨ / ٨٦) - :

المميزات :

١ - عدم ضرورة إخلاء الدور العلوى لصب طبقة علوية .

٢ - توفير الحماية المطلوبة لأسياخ التسليح .

٣ - إمكانية استبدال الصلب بآخر سليم أو إضافة صلب جديد للتسليح الأصلى .

العيوب :

١ - الحديد الأصلى لن يكون فى ناحية الشد ، وإنما سيصبح فى الوسط قريبا من محور التعادل حيث يقل تأثيره .

٢ - صعوبة صب هذه الطبقة بالطرق التقليدية .

٣ - انكماش الخرسانة عند جفافها سيؤدى إلى تقلصها بعيدا عن الخرسانة الأصلية ، مما يؤدى إلى حدوث انفصال بين الطبقتين .

الطريقة:

وهناك طريقتان لعمل هذه الطبقة :

أ - صب الخرسانة :

وفى هذه الحالة تكون الخطوات كالاتى :

١ - يتم تنظيف السطح جيدا باستخدام الرمال المندفعة Sand blast ، وإزالة كل آثار الصدأ والخرسانة المعيبة .

٢ - توضع شبكة التسليح الجديدة وتشبك جيدا بتسليح الكمرات ، ويتم دهان السطح بمادة تعمل على تماسك الخرسانة الجديدة بالقديمة .

٣ - يتم صب الخرسانة - ذات محتوى المياه الأقل ما يمكن لتقليل الانكماش - وذلك عن طريق عمل ثقوب فى البلاطة من أعلى - إن أمكن - شكل (٨ / ٨٧) - أو عن طريق فتحة أفقية فى الشدة وتكون قابلية الخرسانة للتشغيل عالية - باستعمال الإضافات - ويستحسن استعمال الخرسانة المحسنة بالبولىمرات ، وتستعمل هزازت الشدة لدمك الخرسانة ، ويجب التأكد من ملء الخرسانة لكل الفراغ .

ب - رش الخرسانة :

راجع قسم (٢ / ٢ / ٥) .

وهى أيسر طرق عمل طبقة سفلية ، وإذا تم رش الخرسانة على طبقات رفيعة يمكن الحصول على تماسك تام بين الطبقة الجديدة والخرسانة الأصلية .

٦ / ٥ / ٢ / ١ - نقل قوى القص بين الخرسانة الجديدة والأصلية :

إن نقل قوى القص بنجاح بين طبقة الخرسانة الجديدة والأصلية هو سر عمل الطبقتين معا بالعمق كله ، والفشل في نقل هذه القوى يجعل كل طبقة تعمل منفصلة ، ولكى تتولد المقاومة الكافية عند سطح التماسك بين الطبقتين فلا بد من تخشين سطح الخرسانة الأصلية ودهانه بمادة تزيد من التماسك ، أو استعمال مسامير القص من الصلب حسب الحالة .

وفى بحث أجرى على نقل قوى القص بين سطحين من الخرسانة (٢٥) ، توصل الباحثان إلى أن حمل القص الأقصى المنقول بين السطحين عبارة عن حاصل جمع مقاومة

القص نتيجة خشونة السطح ، بالإضافة إلى قدرة مسامير القص على مقاومة قوى القص كما في المعادلة :

حمل القص الأقصى = مساحة سطح التماس \times إجهادات القص القصوى (حسب حالة السطح + ٨ , \times مساحة مقطع مسامير القص \times إجهاد الخضوع للصلب .

وقد اقترح الباحثان أخذ إجهادات القص القصوى كالتالي :

حالة السطح	أملس	مسوى بالمسطرين	مخشن
إجهاد القص الأقصى كجم / سم ^٢	٢	٤	٨

ويوصى باستعمال مسامير القص لأنها توفر الممتطولية Ductility اللازمة لتفادي حدوث انهيار مفاجئ عند تعرض البلاطة لأحمال عالية ، أما استعمال مواد زيادة التماسك فقط فلا توفر هذه الممتطولية .

٦ / ٥ / ٣ - إضافة تسليح شد :

يمكن إضافة تسليح للشد عن طريق لحام ألواح من الصلب في السطح السفلي للبلاطة ، ويتم تثبيت هذه الألواح بالمسامير أو باللصق - انظر قسم (٥ / ٣ / ٢) - ويجب دهان هذه الألواح لحمايتها من الصدأ أو رش طبقة من الخرسانة عليها بعد دهانها بمادة تسبب تماسك الخرسانة على سطحها ، وميزة هذه الطريقة عدم تخفيض الارتفاع النظيف للدور - إلا بمقدار بسيط .

٦ / ٥ / ٤ - تخفيض بحر البلاطة :

لتدعيم البلاطة ومساعدتها على تحمل الأحمال الواقعة عليها يمكن تخفيض بحرها عن طريق :

١ - إضافة حائط حامل :

ولا يكون هذا الحائط مؤثراً إلا إذا تم رفع البلاطة هيدروليكياً ، ثم بناء الحائط بحيث يوفر الركيزة المطلوبة للبلاطة ، ويجب في هذه الحالة وضع تسليح علوى في البلاطة في الجزء الذى أضيف فيه الحائط لمقاومة عزوم الانحناء التى ستولد .

٢ - إضافة كميرات أسفل البلاطة :

ويمكن أن تكون هذه الكميرات معدنية أو من الخرسانة الجاهزة ، والأولى قد تغلف بالخرسانة أو يكتفى بدهانها بمادة تمنع الصدأ - شكل (٨ / ٨٨) - ولا بد من رفع البلاطة لشحط الكمرة - وضعها ملاصقة تماما - للسطح السفلى للبلاطة ، ولتفادي حدوث شروخ انحناء عند الدعامة الجديدة - الكمرة المضافة - نتيجة عدم وجود تسليح علوى فوقها يمكن عمل شق طولى بمنتشار الخرسانة حتى تصبح البلاطة مرتكزة ارتكازا بسيطا - وليس مستمرا - على الكمرة الجديدة - شكل (٨ / ٨٩) .

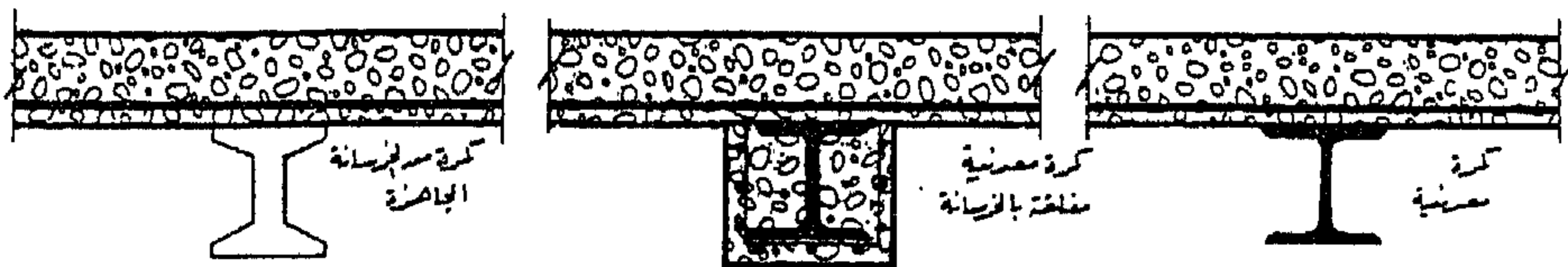
٦ / ٥ / ٥ - الشد الخارجى Post - tensioning :

تظهر شروخ الانحناء فى البلاطات نتيجة إجهادات الشد ، ويمكن وقفها عن طريق إزالة هذه الإجهادات ، فقد يمكن غلق هذ الشروخ بإضافة قوى ضغط كافية للتغلب على قوى الشد المسببة للشروخ ، وجعل بطنية البلاطة معرضة لإجهادات ضغط .

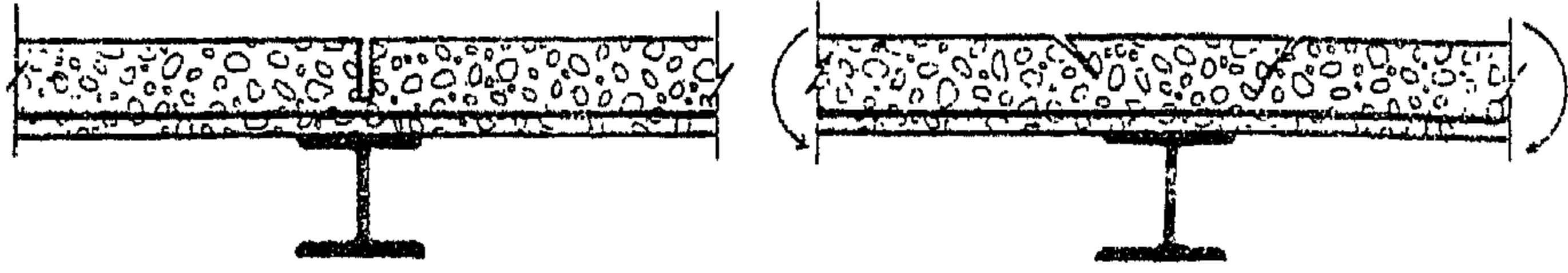
وقوة الضغط المطلوبة يمكن الحصول عليها عن طريق الإجهاد السابق Prestressing والذي ينشأ من شد القضبان أو الأسياخ ثم ربطها وتثبيتها ، وهذا التثبيت هو المشكلة فى هذه الطريقة لأن التثبيت يجب أن يكون فى جزء جاسئ ، وقد يتم ذلك بالتثبيت فى البلاطة نفسها أو بعمل ثقوب والتثبيت فى الكميرات المحيطة - شكل (٨ / ٩٠) - وفى كلتا الحالتين يجب حساب الإجهادات التى ستولد فى البلاطة نتيجة قوى الضغط الجديد وقوى التثبيت ، كما يجب الاحتياط من عدم انتشار الشروخ نتيجة تغيير الإجهادات فى البلاطة .

٦ / ٥ / ٦ - تدعيم مقاومة البلاطة للقص :

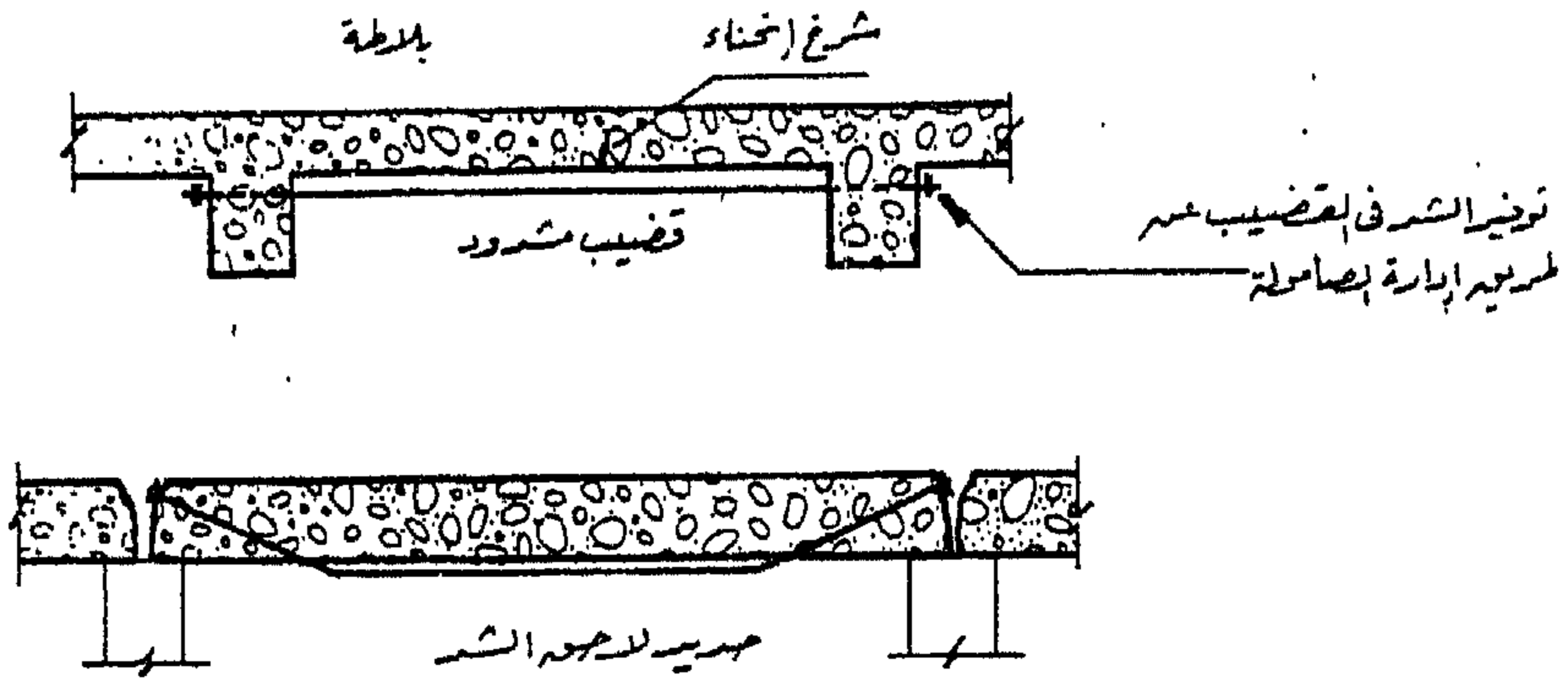
فى حالة وجود قوى قص عالية على البلاطة - مثل بناء حائط أو وجود حمل خطى Line load على البلاطة مباشرة وقريبا من الكمرة - فيلزم تدعيم قدرة البلاطة على مقاومة هذه القوى الجديدة باستعمال ألواح الصلب ومسامير الرباط النافذة من فجوات تعمل بالبلاطة فى منطقة القص - شكل (٨ / ٩١) .



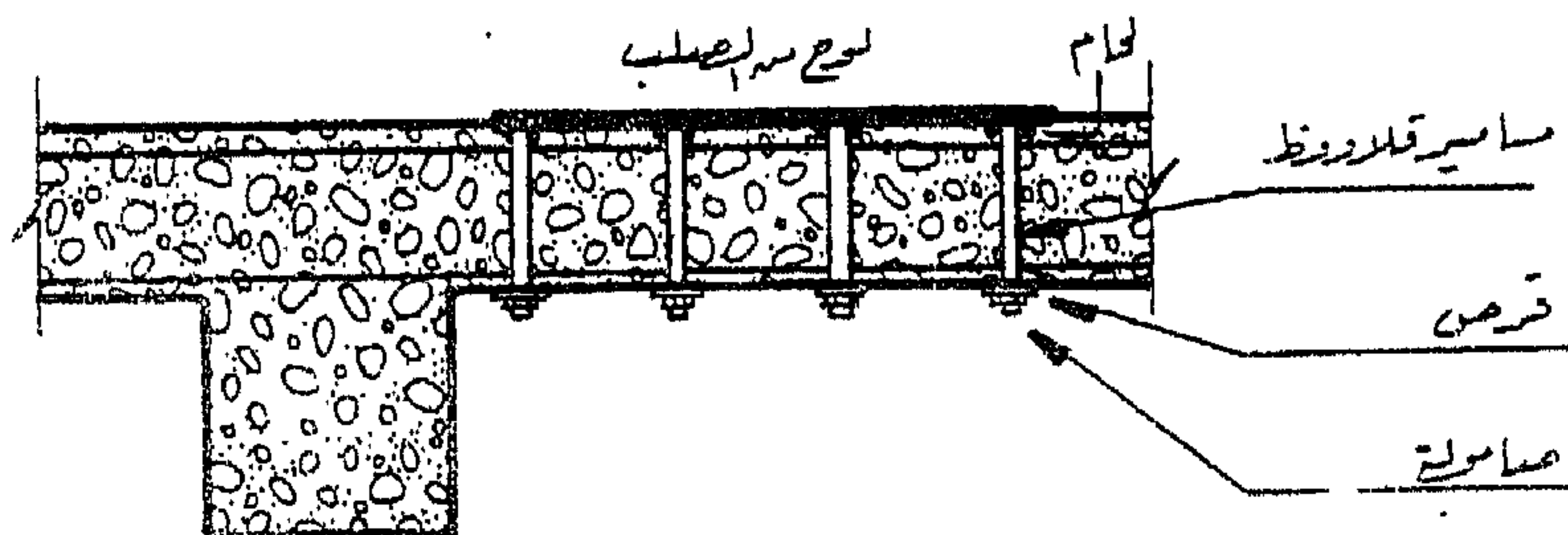
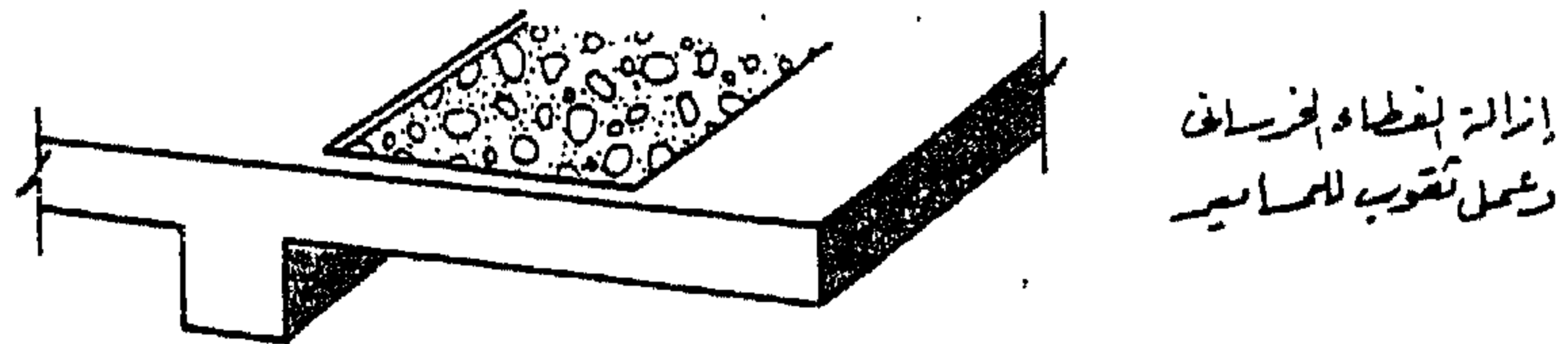
شكل (٨ / ٨٨) تخفيض بحر البلاطة عن طريق إضافة الكميرات



شكل (٨ / ٨٩) تفادى الشروخ الناتجة عن وضع كمرّة إضافية عن طريق نشر شق طولى



شكل (٨ / ٩٠) الشد الخارجى للبلاطات



شكل (٨ / ٩١) تقوية البلاطة في القص باستخدام ألواح الصلب ومسامير رأسية

المراجع

- 1-Waddel, J. J. :
"Basic Steps of a Concrete Repair ProGram" Concrete repair and restoration, ACI compilation No. 5, Concrete International : Design and Construction, Vol. 2, No. 9, Sept., 1980, PP 12 -15.
- 2 - De Neufville, R. and Stafford, J.H. :
"System Analysis, for Engineers and Managers "
Mc Graw-Hill book Co., New York, 1971.
- 3 - Smolira, M. :
"Analysis of Defects in Concrete and Brick Structures During construction and in Service"
Dept. of the Enviroment, London 1969, 142 PP.
- 4 - Building Research Establishment (BRE) :
" The Durability of Steel in Concrete - part 2 : Diagnosis and Assessment of Corrosion Cracked Concret"
Garston, 1982, 8 PP, BRE digest 264.
- 5 - American Concrete Institute (ACI) :
"Preplaced Aggregate Concrete for Structural and Mass Concrete"
Manual of Concrete practice, Part 2, Detroit, Michigan, U.S.A.
- 6 - British Standards Institution (BSI) :
"Testing of Resin Composition for Use in Construction"
BS 6319, Part 1 : 8, London 1983 - 1984.
- 7 - Allen, R. :
"The Rapair of Concret Structures"
Cement and Concrete Association, Wexham springs, 1985, 13 PP, Pub, 47, 021.
- 8 - Johnson, Sydney M. :
"Deterioration, Maintenance and Repair of Strectures"
McGraw - Hill Book Co., New York, 1965, 373 PP.
- 9 - ACI Committe 504 :
"Guide to Joint Sealants for Concrete Structures"
ACI 504 R - 77, American Concret Institute, Detroit, 1977.

- 10 - ACI Committee 503 :**
"Standard Specifications for Repairing Concrete with Epoxy Mortars"
ACI 503.4 - 79, American Concrete Institute, Detroit, 1979.
- 11 - ACI Committee 503 :**
"Use of Epoxy Compounds with Concrete"
ACI 503R - 80 .
- 12 - ACI Committee 548 :**
"Polymers in Concrete"
ACI 548R - 77 (Reaffirmed 1981) .
- 13 - Lauer, K. R. and State F.O. :**
"Autogenous Healing of Cement Paste" ACI Journal, Vol. 27, No. 10, June 1956, PP 1083 - 1098.
- 14 - Concrete Society :**
"Repair of Concrete Damaged by Reinforcement Corrosion"
Concrete Society Tech. Report No. 26, 31 PP, ref. 53.051, Wexham springs, England, 1984.
- 15 - Pullar - Strecker, P. :**
"Corrosion Damaged Concrete - Assessment and Repair"
CIRIA, London, 1987, ref. 624, 18341, TA 683, 96 PP.
- 16 - Clear, K.C. and Brian, H. :**
"Styrene - Butadiene Latex Modifiers for Bridge Deck Overlay Concrete" Report No. FHWA - RD - 78 - 35, Federal Highway Adm., Washington D.C., April 1978, 124 PP.
- 17 - Traut, J.F. and Santangelo, S. :**
"Epoxy Injects New Life Into Bridge Pier"
Concrete Int. , August, 1986, PP 39 - 43.
- 18 - Concrete Society :**
"Code of Practice of Sprayed Concrete"
Concrete Society, 16 PP, pub. ref. 53. 030 , Wexham springs, England, 1980 .
- 19 - Lodner, M., Weder, Ch.:**
"Concrete Structures with Pondered External Reinforcement" ,

Massive construction Sec., EMPA, Dübendorf, Switzerland,
Report No. 206, 1981, 61 PP.

20 - Prints, F. and White, L. :

"Underpinning"

Columbia Univ. Press, N.Y. 1960.

21 - Shaheen, H. , Abdel Rahman, A. and Esmail G.

"Strengthening of Corner Columns by Concrete Jackets"

22 - Abdel Rahman A. :

"Strengthening of Columns by Concrete Jackets" Proc. first Egypt
Struct. Eng. Conf., Cairo Univ., April 1985.

23 - Abu El Einin, A. :

"Strengthening of Eccentrically loaded columns"

Bulletin of the Faculty of Eng., Ain Shams Univ., 1985.

25 - El - Behairy, S. and Abu El Einin, A. :

"Direct shear Transfer Between two Concrete Surfaces"

Bulletin of the Faculty of Eng., Ain Shams Univ, No. 15, 1985.

ملحق

مثال عملي على حساب حركة الشروخ^(١)

هذا المثال يبين طريقة حساب الانفعالات المحتملة ، وبناءً عليها حساب الزيادة في اتساع الشروخ وذلك لحساب مقدار المرونة المطلوبة في المادة التي ستستخدم للء هذه الشروخ ، وهناك العديد من العوامل التي لا يمكن حسابها رقمياً بدقة ومن ثم فهناك بعض الفروض التي لابد من وضعها ، وحيثما كان هناك شك فإن الفروض نتميل إلى الجانب المحافظ أي أنها ستؤدي إلى حركة في الشروخ أكبر مما يمكن .

والمثال عبارة عن بلاطة من الخرسانة المسلحة سمكها ٢٢,٥ سم بأحد جراجات السيارات بإنجلترا ، وقد حدثت بالسطح العلوى لهذه البلاطة شروخ انكماش لدن يصل عرضها إلى ٢ مم وعلى مسافات من ١ - ٢ م ، وتم اكتشاف هذه الشروخ بعد عدة أيام من صب البلاطات ، وقد تم الاتفاق على ملء هذه الشروخ بمادة مرنة عندما يكون عمر البلاطات حوالي ستة أشهر وذلك قبل استخدام هذا الجراج فعلاً ، لأنه من المتوقع في ذلك الوقت أن تكون الحركة المبكرة نتيجة الحرارة قد كادت أن تلتشى وأن الحركة المتبقية هي فقط تلك الناشئة عن الأحمال الحية والتغير الموسمي في درجة الحرارة والانكماش طويل المدى نتيجة جفاف الخرسانة .

وسوف يسبب الحمل الدائم (الميت) زحفاً في منطقة الضغط ونقصاً في جساءة الخرسانة في منطقة الشد ، مما يؤدي إلى زيادة طفيفة في عرض الشرخ مع الوقت ، وأكبر معدل لهذه الزيادة يحدث بعد فك الشدة أسفل الكمرات مباشرة ثم ينخفض المعدل مع الوقت ويمكن إهماله بالتأكيد بعد ستة أشهر^(٢) ..

وسوف ننظر في احتمالين مختلفين :

أ - جراج متعدد الطوابق حيث البلاطة معرضة كلية للعوامل الجوية الخارجية .

ب - جراج تحت الأرض حيث البلاطة معرضة فقط لعوامل الجو الداخلية .

والمعلومات التالية معطاة أو تم افتراضها :

مقاومة الضغط للخرسانة (F_{cu}) = ٣٠ نيوتن / مم^٢ .

معايير المرونة للخرسانة (E_c) = ٢٨ كيلو نيوتن / مم^٢ .

إجهاد الخضوع للحديد (F_y) = ٤٦٠ نيوتن / مم^٢ .

مساحة حديد التسليح (A_s) = ٥٥٦ مم^٢ .

معايير المرونة للحديد (E_s) = ٢٠٠ كيلو نيوتن / مم^٢ .

الغطاء الخرساني = ٣٠ مم .

معامل التمدد الحراري = $10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$.

الحمل الميت = $24 \times 225 \times 1000 = 5,4$ كيلو نيوتن / مم^٢ .

الحمل الحي = ٢,٤ كيلو نيوتن / مم^٢ .

الانفعال نتيجة الحمل الحي (متساوى فى حالة التعرض لعوامل خارجية أو داخلية) :

يمكن حساب الانفعال نتيجة الحمل الحي من تحليل أداى للمنشأ .

Serviceability Analysis كما يلي :

داخلي	خارجي	
$7-10 \times 410$	$7-10 \times 410$	* الحمل الحي
$7-10 \times 150$	$7-10 \times 350$	* التغير الموسمي للحرارة
$7-10 \times 235$	$7-10 \times 128$	* الانكماش نتيجة الجفاف
<hr/>	<hr/>	
$7-10 \times 795$	$7-10 \times 888$	

ورغم أنه من الممكن - نظريا - أن يتولد كل الانفعال نتيجة الحمل الحي فإنه يمكن افتراض أن جزءاً من الانفعال نتيجة التغير الموسمي للحرارة والانكماش نتيجة الجفاف يمكن أن يذهب في فواصل التمدد ، وعلى ذلك يمكننا أن نفترض أن ٥٠ ٪ من هذا الانفعال فقط هو الذى سيتولد (هذا معناه أن القيد على الحركة بنسبة ٥٠ ٪) وعلى ذلك يصبح التجميع المعدل كالتالى :

داخلي	خارجي	
$7-10 \times 410$	$7-10 \times 410$	• الحمل الحي
$7-10 \times 75$	$7-10 \times 175$	• التغير الموسمي للحرارة
$7-10 \times 118$	$7-10 \times 64$	• الانكماش نتيجة الجفاف
<hr/>	<hr/>	
$7-10 \times 603$	$7-10 \times 749$	

ويلاحظ أن هذا لم يغير الانفعال الكلي إلا بمقدار ٢٥ ٪ فقط ، مما يدل على أنه ليس من الضروري معرفة درجة القيد الحقيقي على الحركة بدقة .

حركة الشروخ :

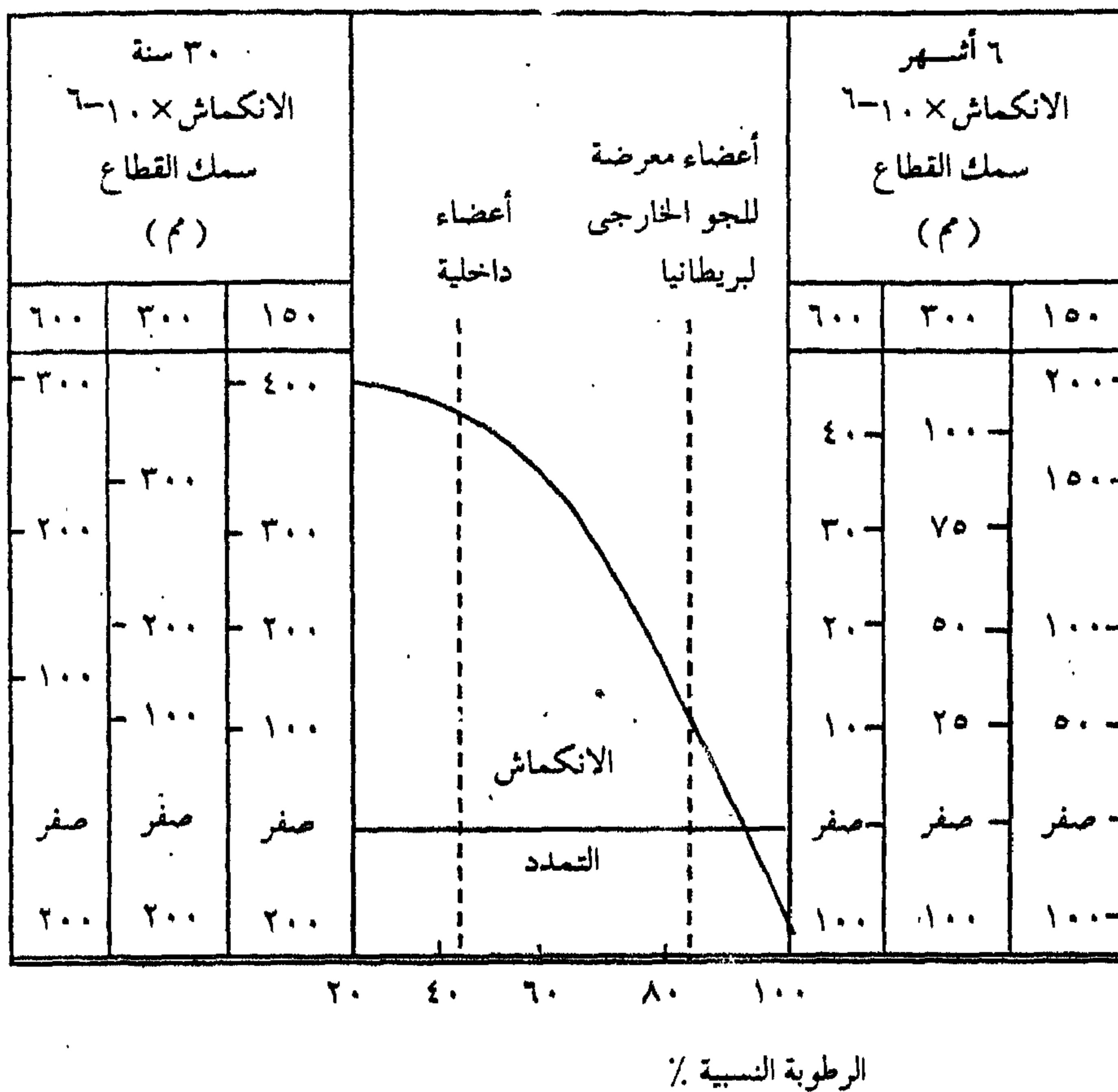
كما سبق أن شرحنا في قسم ١/٢/٣ - من الباب الثالث - فإن الشرخ يمكن أن يتأثر فقط بطول معين من الخرسانة على جانبيه . هذا الطول تم تحديده على أساس المسافة (م) ، وهذه المسافة يمكن حسابها ولكن في حالة الأعضاء المعرضة للانحناء يمكن أن تفرض (فرضاً محافظاً) بحيث تساوي مرة ونصف العمق الفعال (مبدأ سانت فينانت) (St. Venant's Principle) وهذا يعني أن المسافة (م) تصبح ٢٨٤ مم ، وفي الحقيقة فإن حساب هذه المسافة (م) سيعطى رقماً حوالى ٢٣٠ مم (للأعضاء المعرضة للانحناء) .

وعلى ذلك يصبح التحرك المتوقع للشروخ هو الانفعال المحسوب عالياً مضروباً في مسافة ٢٨٤ مم ، وعليه تصبح حركة الشروخ كما يلي :

داخلي	خارجي	
٠,٢٣ مم	٠,٢٥ مم	• بافتراض قيد كامل على الحركة
٠,١٧ مم	٠,١٨ مم	• بافتراض قيد ٥٠ ٪ على الحركة

ومن هذه الأرقام يمكن حساب المرونة المطلوبة للمادة المائلة .

ورغم أن شروخ الانكماش اللدن وصل اتساعها إلى ٢ مم إلا أن قدرًا أكبر من المرونة يصبح مطلوباً في المادة المائلة إذا وصل اتساع الشرخ إلى مليمترًا واحدًا ، ويمكننا افتراض أن ملء الشروخ التي يقل عرضها عن ١ مم يصبح غير مهماً وعليه فمرونة المادة المائلة يجب أن يتراوح بين ١٧ إلى ٢٥ ٪ .



شكل (م - ١) الانكماش نتيجة الجفاف للخرسانة الإنشائية (ذات المحتوى من الماء ١٩٠ لتر / م^٣ تقريباً) مرجع (٢)

المراجع

1 - Beeby, A.W. :

" Cracking, Cover and Corrosion of Reinforcement " Concrete Int. :
Design and Construction, Vol. 5, No.2, Feb. 1983 , pp 35 - 40 .

2 - Parrot, L.J . :

" Simplified Methods of Predicting the Deformation of Structural Concrete " Cement and Concrete Association, Slough, O.K., Development Report No. 3, 1979, 11 pp. ref. 44.003 .

3 - British Standards Institution, CP 110, Part 1 :

" Code of Practice for the Structural Use of Concrete " London, 1972 .

الفهرس

٥ مقدمة

الباب الأول نظم إنشاء المباني الخرسانية أ . م . د . شادية الإياري

٧ مقدمة

٨ ١ - النظم التقليدية

٨ ١ / ١ - نظام البلاطة والكمرة

١٠ ٢ / ١ - نظام الأسقف من البلاطات اللاكمرة

١٣ ٣ / ١ - نظام الأسقف من البلاطات الخرسانية ذات الأعصاب

١٦ ٢ - النظم الحديثة للخرسانة المصبوبة بالموقع

١٦ ٢ / ١ - الإنشاء بنظام الشدات النفقية

١٨ ٢ / ٢ - الإنشاء بطريقة الشدات المنزلقة رأسياً

٢٠ ٢ / ٣ - نظام البلاطات المرفوعة

٢٣ ٢ / ٤ - الإنشاء بنظام الأعصاب والبلوكات المفرغة (طريقة كاتزنبرجر)

٢٦ ٣ - نظم المباني الجاهزة

٢٦ ٣ / ١ - الأعمدة والحوائط والبلاطات الجاهزة

٢٩ ٣ / ٢ - البلاطات المفرغة سابقة الإجهاد والصب

٣١ المراجع

الباب الثاني عيوب وانهيارات المنشآت الخرسانية أ . د . شريف أبو المجد - أ . م . د . منير كمال

٣٣ مقدمة

٣٥ ١ - أنواع العيوب بالمنشآت

٣٦ ١ / ١ - عيوب تتعلق بالصلاحيّة للاستخدام

٣٦ ١ / ٢ - عيوب تتعلق بأمان المنشآت

٤٦ ١ / ٣ - عيوب تتعلق بالهـ: امر الإنشائية للمبنى

٤٨	٢ - أسباب العيوب بالمنشآت وانهيائها
٤٨	٢ / ١ - التربة والأساسات
٥٢	٢ / ٢ - قصور التصميم أو التفاصيل
٥٦	٢ / ٣ - المواد المعيبة
٥٦	٢ / ٤ - القصور في أساليب التنفيذ
٥٨	٢ / ٥ - عدم أخذ تأثير الحركة في الاعتبار
٦١	٢ / ٦ - حماية غير كافية للمنشآت
٦١	٢ / ٧ - عدم صيانة المنشآت
٦١	٢ / ٨ - تغيير استخدام المنشآت
٦٢	٢ / ٩ - الكوارث الطبيعية
٦٥	المراجع

الباب الثالث

الخرسانة المسلحة ، مكوناتها ، خواصها واختباراتها

أ . د . شريف أبو الجند - أ . د . عمرو سلامة

٦٧	١ - مكونات الخرسانة وأثرها على تصدع المنشآت
٦٧	١ / ١ - مقدمة
٦٨	١ / ٢ - الأسمنت
٧١	١ / ٣ - الركام
٧٥	١ / ٤ - ماء الخلط
٧٥	١ / ٥ - الإضافات
٧٨	٢ - خواص الخرسانة المؤثرة في حدوث العيوب
٧٨	٢ / ١ - المقاومة للأحمال
٨٦	٢ / ٢ - الانكماش
٩١	٢ / ٣ - المسامية والنفاذية
١٠٠	٢ / ٤ - التحمل مع الزمن
١٠٦	٣ - أسس تكون الشروخ
١٠٦	٣ / ١ - كيفية تكون الشروخ
١١١	٣ / ٢ - تأثير صلب التسليح

١١٧ ————— ٤ - اختبارات الخرسانة

١١٧ ————— ٤ / ١ - اختبارات الخرسانة الطازجة

١١٧ ————— ٤ / ٢ - اختبارات الخرسانة المتصلدة

الباب الرابع

عيوب الخرسانة المسلحة أنواعها ، أشكالها ، وأسباب حدوثها

أ . د . شريف أبو المجد

١٧٣ ————— مقدمة

١٧٥ ————— أولاً : التبييع والتعليق

١٧٧ ————— ثانياً : الشروح

١٧٩ ————— ١ - شروح الخرسانة اللدنة

١٧٩ ————— ١ / ١ - شروح انكماش الخرسانة اللدنة

١٨١ ————— ١ / ٢ - شروح هبوط الخرسانة اللدنة

١٨٥ ————— ١ / ٣ - التحرك أثناء التنفيذ

١٨٩ ————— ٢ - شروح الخرسانة المتصلدة

١٨٩ ————— ٢ / ١ - شروح طبيعية

١٩٧ ————— ٢ / ٢ - شروح كيميائية

٢٣٣ ————— ٢ / ٣ - شروح حرارية

٢٤٠ ————— ٢ / ٤ - قصور التصميم

٢٥٤ ————— ٢ / ٥ - التحميل الزائد

٢٥٧ ————— ٢ / ٦ - الزحف

٢٥٨ ————— ٢ / ٧ - فوق الهبوط

٢٦٣ ————— ٢ / ٨ - أخطاء التنفيذ

٢٧٥ ————— ثالثاً : تساقط الخرسانة

٢٧٨ ————— رابعاً : تفتت الخرسانة السطحية

٢٨٠ ————— خامساً : التآكل السطحي (البرى)

٢٨٣ ————— سادساً : انغاف الخرسانة

٢٨٥ ————— المراجع

الباب الخامس

تشخيص أسباب التصدع والحكم على سلامة المنشآت

أ. د. شريف أبو المجد - أ. م. د. د. شادية الإيباري

٢٩١	مقدمة
٢٩٣	١ - دراسة الحالة
٢٩٣	١ / ١ - توصيف الأعراض
٢٩٤	١ / ٢ - المعلومات عن خلفية الموضوع
٢٩٥	١ / ٣ - الخطوات الواجب اتباعها لفحص المبنى
٣٠٧	٢ - التشخيص
٣٠٩	٢ / ١ - تشخيص شروخ الخرسانة اللدنة
٣٠٩	٢ / ٢ - تشخيص شروخ الخرسانة المتصلدة
٣٤٣	٢ / ٣ - الخلاصة
٣٤٥	٣ - الحكم على سلامة المنشأ
٣٤٥	٣ / ١ - خطوات الحكم على سلامة المنشأ
٣٥٥	٤ - تحديد مدى خطورة الشرخ
٣٥٥	٤ / ١ - دلالة الشروخ واتساعها
٣٦١	ملحق قائمة الفحص
٣٦١	١ - وصف عام للمنشأ
٣٦١	٢ - الحالة الراهنة للمنشأ
٣٦٣	٣ - ظروف التحميل والبيئة المحيطة
٣٦٣	٤ - المواد المستخدمة
٣٦٤	٥ - طرق التنفيذ المستخدمة
٣٧٣	المراجع

الباب السادس

مواد الإصلاح والحماية وكيفية استخدامها

أ. م. د. منير كمال

٣٧٥	مقدمة
٣٧٧	١ - ماهي البوليمرات - الراتنجاب - البلاستيك ؟
٣٨٠	٢ - ماهي الخرسانة البوليمرية ؟
٣٨٠	١ / ٢ - الخرسانة البوليمرية الأسمنتية
٣٨٢	٢ / ٢ - الخرسانة الأسمنتية المغلغلة بالبوليمرات
٣٩٣	٢ / ٣ - الخرسانة البوليمرية
٣٩٧	٣ - أنواع مواد الترميمات والإصلاح والحماية
٣٩٧	١ / ٣ - المواد الأسمنتية
٣٩٩	٢ / ٣ - المونة الراتنجية
٣٩٩	٣ / ٣ - مواد المعالجة السطحية وغلق المسام
٤١٠	٤ - أهمية تحديد خواص مواد الإصلاح
٤١٠	١ / ٤ - مشكلة التوصيف
٤١٢	٢ / ٤ - تحديد حالة الخرسانة
٤١٣	٣ / ٤ - التماسك بين مادة الإصلاح والخرسانة
٤٢٠	٥ - دليل استخدام مواد الإصلاح
٤٢٢	المراجع

الباب السابع

وسائل صيانة المنشآت الخرسانية وحمايتها

أ. د. شريف أبو المجد

٤٢٧	مقدمة
٤٢٩	١ - تأكيد وضبط الجودة
٤٣٠	١ / ١ - تعريفات
٤٣٣	٢ / ١ - نظام تأكيد الجودة
٤٤٣	٣ / ١ - ضبط الجودة

٤٥٠	٢ - وسائل منع حدوث شروخ فى الخرسانة المسلحة
٤٥٠	١ / ٢ - وسائل منع تشريح الخرسانة اللدنة
٤٥٣	٢ / ٢ - وسائل منع تشريح الخرسانة المتصلدة
٤٧٣	٣ - صيانة المنشآت الخرسانية
٤٧٣	١ / ٣ - مقدمة
٤٧٤	٢ / ٣ - استراتيجية الصيانة
٤٧٦	٣ / ٣ - أعمال الصيانة
٤٨٢	٤ / ٣ - تكلفة الصيانة
٤٩٣	٥ / ٣ - مواصفات أعمال الصيانة
٤٩٥	٤ - حماية المنشآت الخرسانية
٤٩٥	١ / ٤ - حماية الأسطح الخرسانية
٥٠٥	٢ / ٤ - عزل الأسطح ضد الرطوبة
٥١٤	٣ / ٤ - حماية أسباخ التسليح كهربياً
٥٢٥	المراجع

الباب الثامن

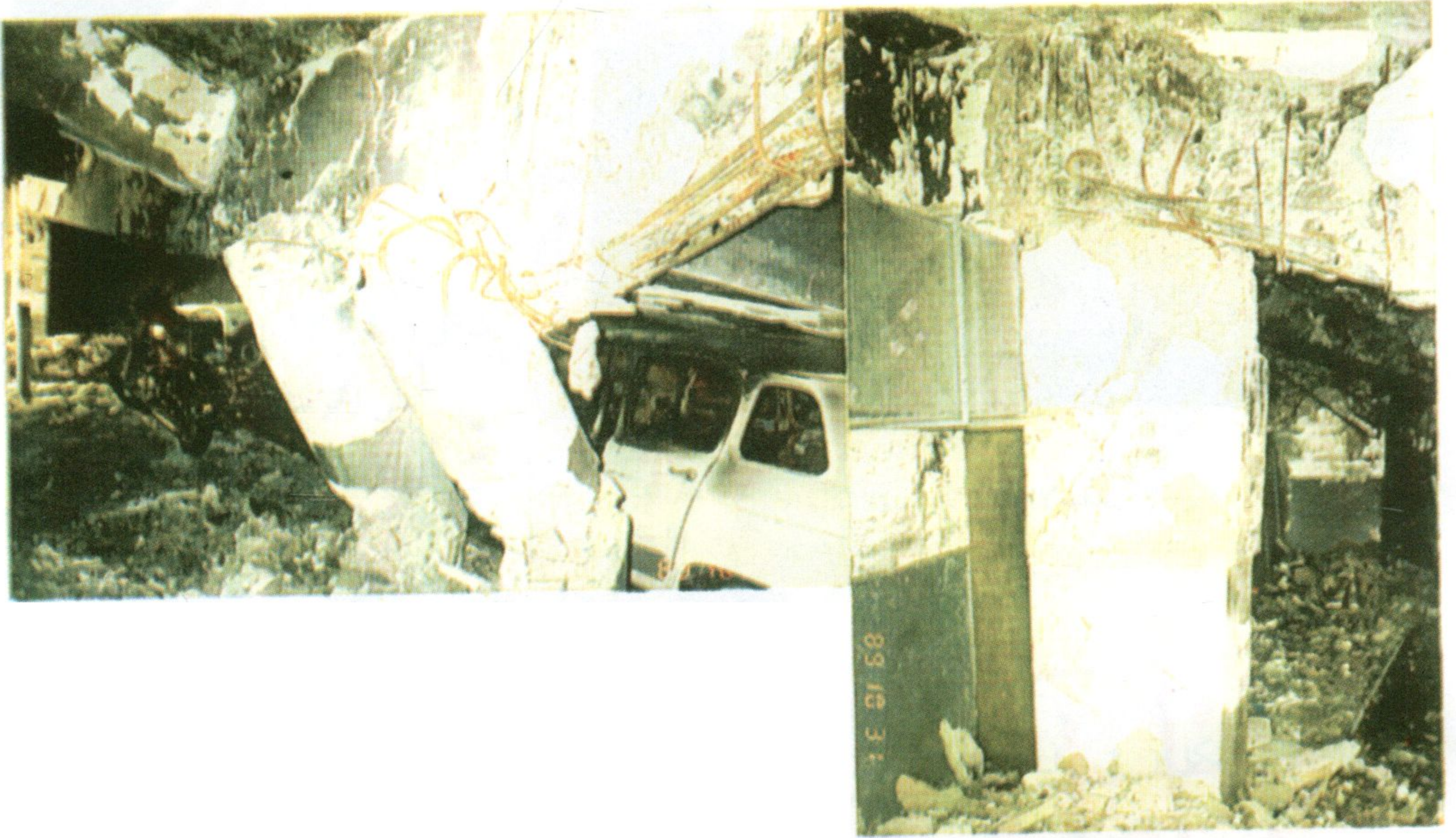
إصلاح وتقوية المنشآت الخرسانية

أ. د. شريف أبو المجد

٥٢٧	١ - خطوات الإصلاح الجيد
٥٢٧	١ / ١ - التشخيص
٥٢٧	٢ / ١ - تقويم جدوى الإصلاح
٥٣٦	٣ / ١ - وضع خطة العمل
٥٣٧	٤ / ١ - اختيار طريقة الإصلاح وتنفيذها
٥٣٩	٢ - الغرض من الإصلاح
٥٤٠	٣ - وسائل الإصلاح
٥٤١	٤ - الإصلاحات غير الإنشائية
٥٤٢	١ / ٤ - اعتبارات عامة
٥٥٦	٢ / ٤ - إزالة البقع والتلميح من على سطح الخرسانة

٥٥٨	٣ / ٤ - إصلاح تساقط الخرسانة
٥٧٠	٤ / ٤ - إصلاح تعشيش الخرسانة
٥٧٥	٥ / ٤ - سد الشروخ وملؤها
	أولاً : طرق الإصلاح فى حالة عدم توقع حركة تؤدي إلى اتساع الشروخ مستقبلاً
٥٧٦	
٥٩٠	ثانياً : طرق الإصلاح فى حالة توقع حركة فى الشروخ مستقبلاً
٥٩٣	٦ / ٤ - إصلاح التدهور نتيجة صدأ الصلب
٦٢٠	٧ / ٤ - وقف تقدم الشروخ
٦٢٤	٥ - الإصلاحات الإنشائية
٦٢٤	١ / ٥ - الحقن بالإيبوكسى
٦٣٠	٢ / ٥ - استبدال الخرسانة المعيبة / زيادة القطاع الخرساني
٦٤٦	٣ / ٥ - زيادة مساحة صلب التسليح
٦٥١	٦ - إصلاح وتقوية الأعضاء الخرسانية
٦٥١	١ / ٦ - اعتبارات عامة
٦٥٧	٢ / ٦ - إصلاح وتقوية الأساسات
٦٧٣	٣ / ٦ - إصلاح وتقوية الأعمدة والحوائط
٦٨٥	٤ / ٦ - إصلاح وتقوية الكمرات
٦٩٧	٥ / ٦ - إصلاح وتقوية البلاطات
٧٠٤	المراجع
٧٠٧	ملحق : مثال عملى على حساب حركة الشروخ
٧١٣	الفهرس

رقم الإيداع بدار الكتب ١٩٩٢/٣٠٠٤



أ- انهيار في سقف جراج أحد الفنادق الكبرى بالقاهرة نتيجة تحميل زائد

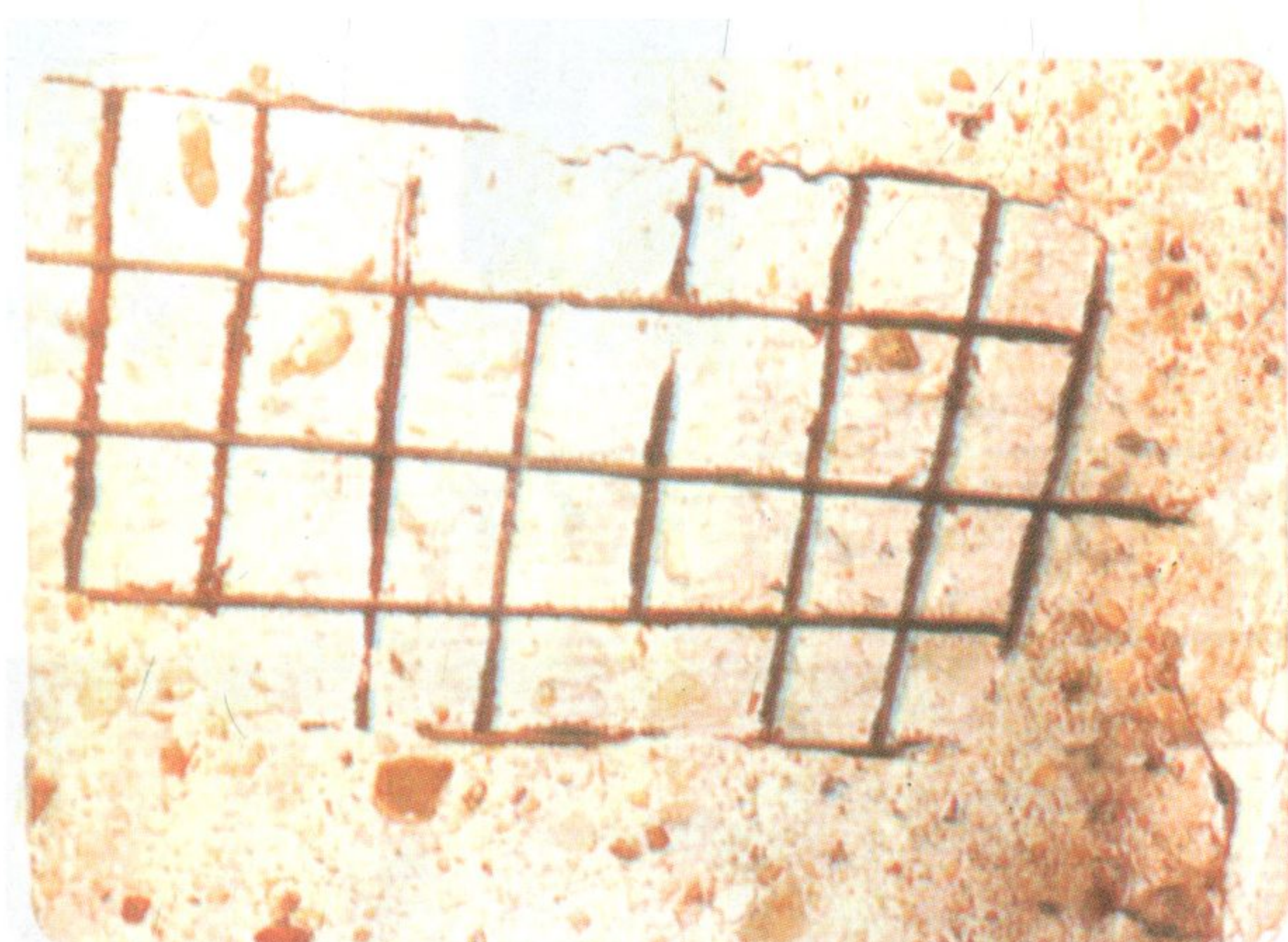
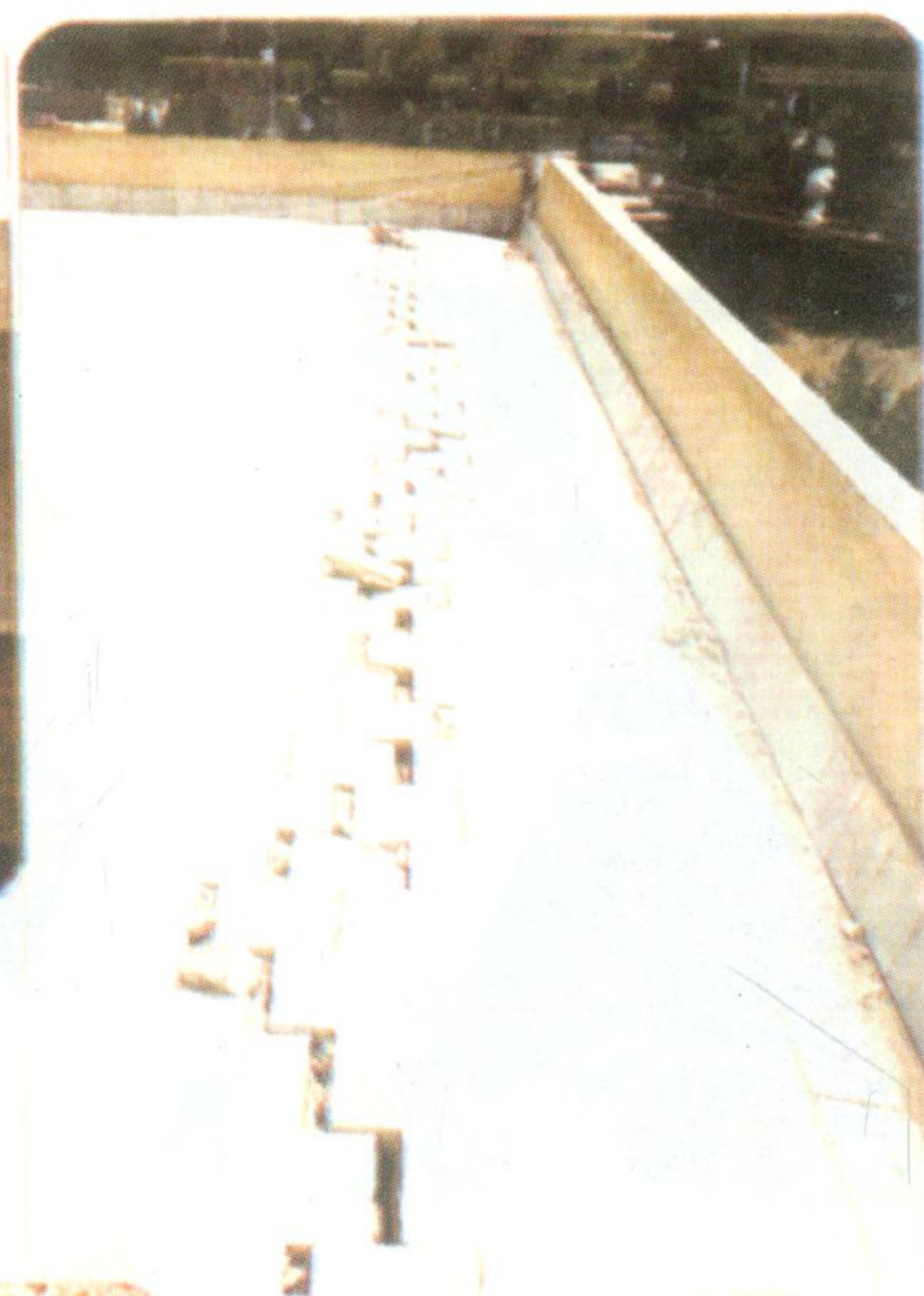


ب - سقوط بلاطة سقف المصنع نتيجة الصدا وتراكم المياه فوقها .

شكل (٣ / ٢) أمثلة على انهيار كامل وانهيار جزئي



أ - انهيار بلاطات الأسقف الأخيرة



ب - تصدع البلاطات الداخلية



شكل (٧ / ٢) انهيار وتصدع البلاطات نتيجة صدأ الحديد

شكل (١٣ / ٤) تأثير الأحماض
على الخرسانة السطحية



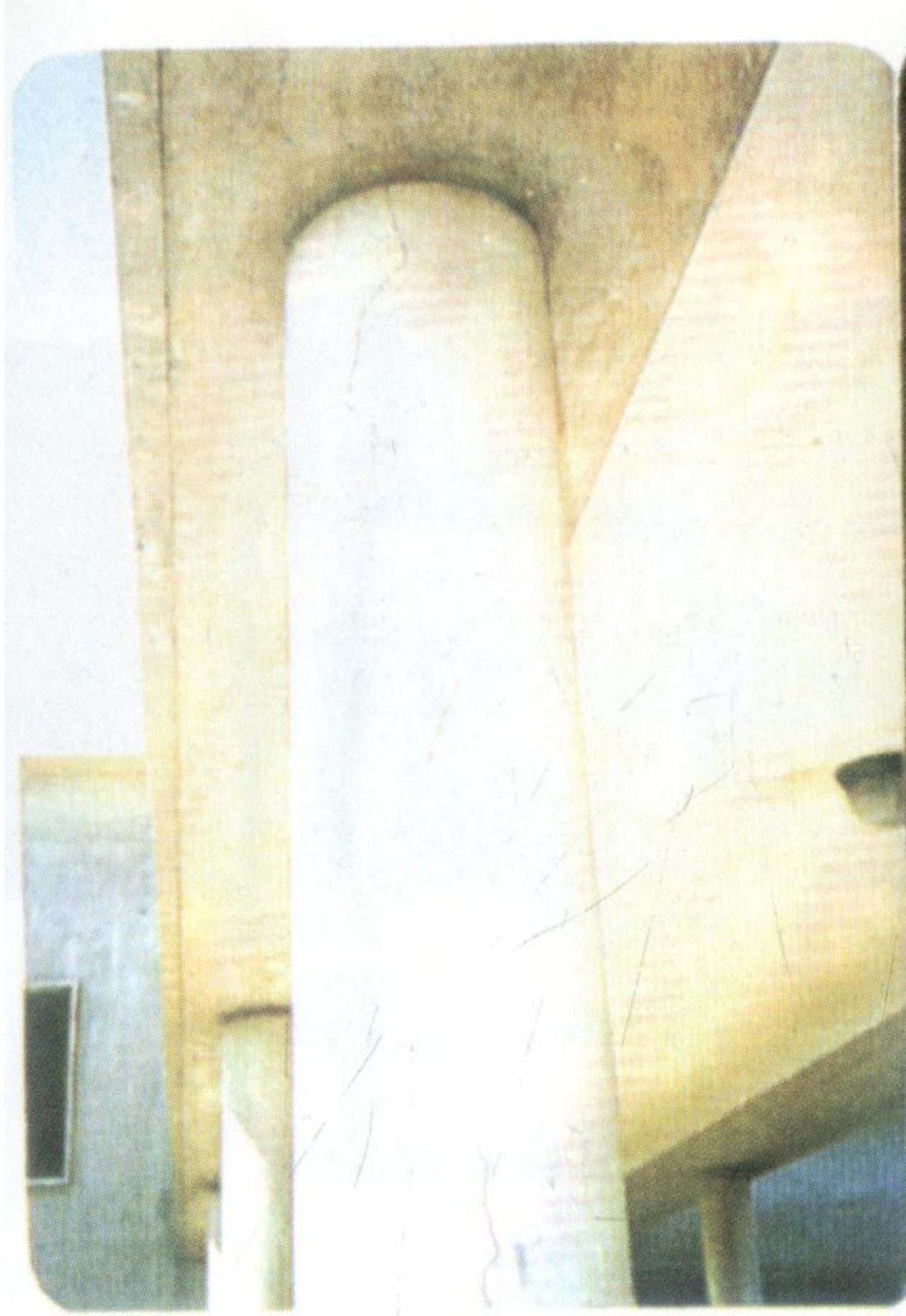
شكل (١٤ / ٤) وصول تأثير
الأحماض إلى صلب التسليح



شكل (٣١ / ٤) سقوط الغطاء
الخرساني للبلاطة بسبب الصدأ



شكل (٣٠ / ٤) شروخ صدأ الحديد
الطولية الموازية للتسليح السفلي للكمرة



شكل (٣٢/٤) بقع الصدأ ذات اللون البني

شكل (٣٣/٤) شريح رأسى (موازى لحديد التسليح) سببه الصدأ



شكل (٣٤/٤) سقوط الغطاء الخرساني وظهور
الصدأ فى الحديد الرئيسى والكانات

شكل (٣٦ / ٤) سقوط الغطاء الخرساني نتيجة الصدأ



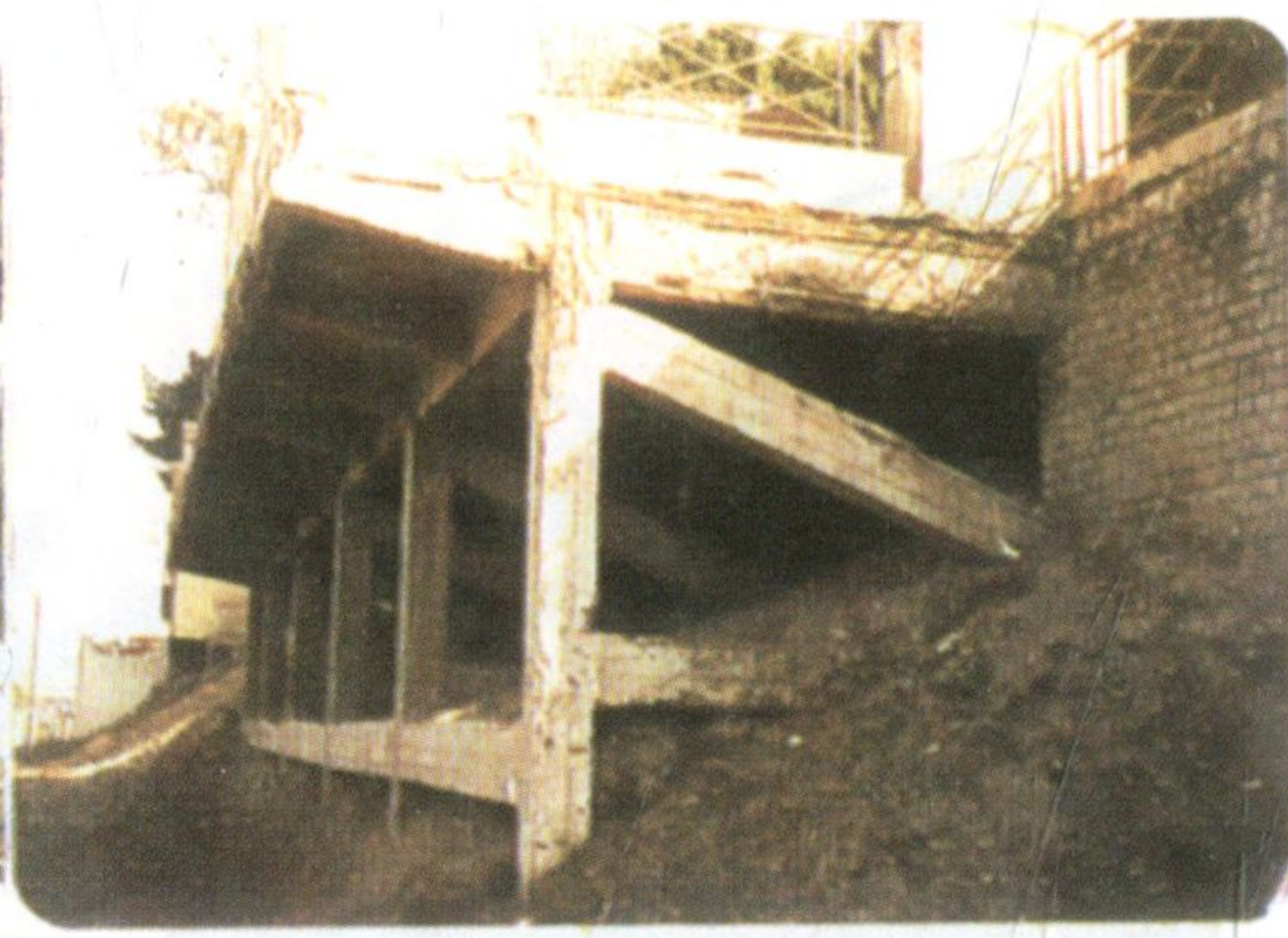
شكل (٤ / ٤١) شروخ صدأ في بلاطة
وأعمدة مبنى على نهر النيل مباشرة .



شكل (٤ / ٣٨) شروخ صدأ وتساقط
الغطاء الخرساني في عمود داخلي



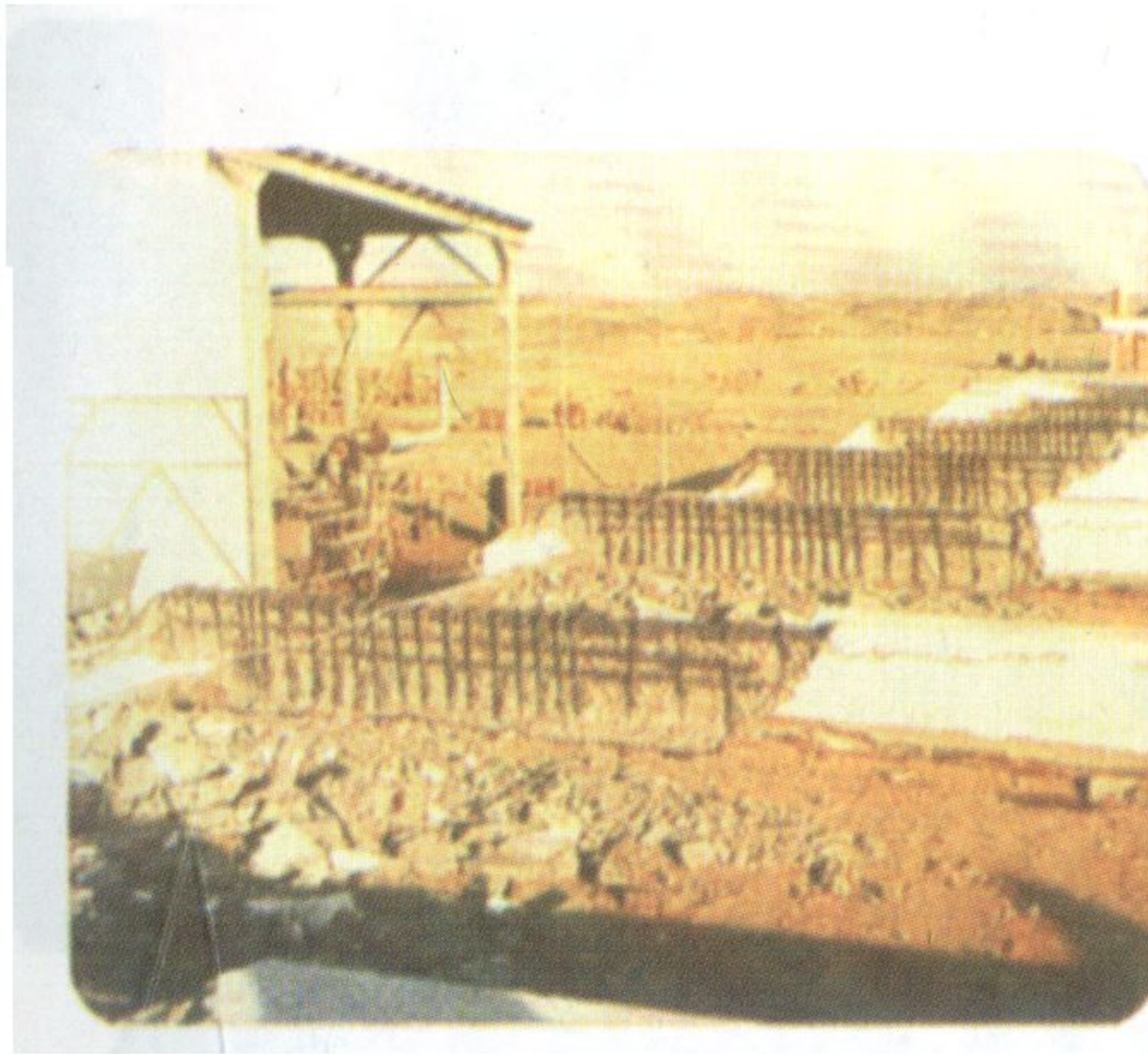
شكل (٤ / ٥٧) سوء تخزين حلب التسليح



شكل (٤ / ٤٢) شروخ صدأ في خرسانة
الأعمدة والبلاطة بسبب عدم العزل .



شكل (٤ / ٥٨) إضافة الماء إلى الخلطة بدون معيار محدد



شكل (٨ / ٢٩) إزالة الخرسانة بعمق

كاف خلف الأسياخ في كمرة مقلوبة (سطح نهائي)

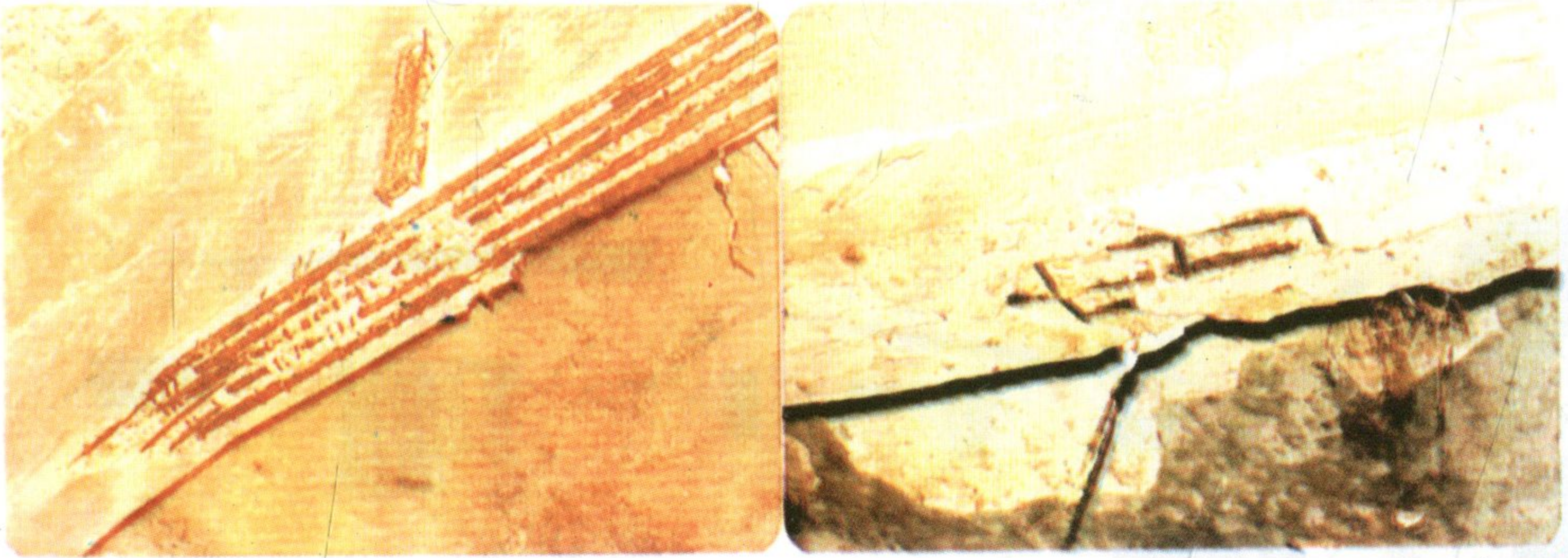


شكل (٨ / ١٨) الشروخ السطحية لكمرة

الدروة الخارجية بعد ملئها بالإيبوكسي



أ- عيوب في تنفيذ السلاالم



ب- عيوب تنفيذ الكمرات

شكل (١١ / ٢) أمثلة على عيوب التنفيذ



شكل (١٤ / ٢) قصور في صيانة وحماية المنشآت

هذا الكتاب

مما لا شك فيه أن مشكلة تصدع المنشآت الخرسانية بوطننا العربي قد أصبحت من المشاكل الملحة التي يجب أن تتكاتف الجهود للوصول إلى حلها، ومن أهم أسباب هذه المشكلة عدم وجود الوعي الكافي لدى جمهور المهندسين بأسباب التصدع حتى يمكن تلافيها، وبطرق العلاج حتى يمكن اتباعها.

وطريقة تناول المهندس أو الاستشاري الإنشائي لمشكلة تصدع المنشآت الخرسانية وكيفية إصلاحها يجب أن تماثل طريقة تناول الطبيب لمشكلة المرض وكيفية علاجه، فالطريقتان تشملان: التنقيب عن الأسباب بالسؤال والفحص ثم التشخيص السليم بالتحليل والدراسة فوصف العلاج الناجح بالدواء أو الجراحة مع الحرص على الوقاية لمنع المرض من الحدوث أصلاً فالوقاية خير من العلاج.

وقد قامت مجموعة من المتخصصين في هذا المجال بوضع هذا الكتاب ليكون عوناً للمهندس العربي على تفهم طبيعة المشكلة وطرق علاجها، وهذه المجموعة من الجامعة ومن الهيئة العامة لبحوث البناء والإسكان بمصر، والمنوط بها دراسة حالة المباني المتصدعة واقتراح وسائل علاجها.

والكتاب مكون من ثمانية أبواب: يتناول الباب الأول نظم إنشاء المباني الخرسانية وأنواع التصدعات المرتبطة بها، والباب الثاني يعرض عيوب وانحرافات المنشآت الخرسانية وأسبابها، أما الباب الثالث فيتعرض لخواص الخرسانة المسلحة المرتبطة بالتصدع وطرق اختبارها، ويعرض الباب الرابع عيوب الأعضاء الخرسانية مفصلاً في أسبابها وأشكالها، ويختص الباب الخامس بتشخيص أسباب التصدع وكيفية الحكم على سلامة المنشآت. ومواد الإصلاح والحماية وكيفية استخدامها مشروح في الباب السادس، والباب السابع يختص بوسائل صيانة المنشآت وحمايتها. وطرق الإصلاح المختلفة - إنشائية وغير إنشائية - مفصلة في الباب الثامن.

والكتاب يجمع بين العمق العلمي الذي يجعله مرجعاً في الموضوع وبين الأسلوب المبسط الذي يشجع مهندس التنفيذ على قراءته. كما أنه يحتوي على مئات الرسومات التفصيلية والصور الفوتوغرافية التي توضح أشكال العيوب كما توضح طرق الإصلاح.

والناشر إذ يُقدِّم للقارئ هذا الكتاب يأمل أن يكون فيه نفع للعاملين في هذا المجال، وأن يضيف لبنة جديدة في مجال العلوم الهندسية.

الناشر

Bibliotheca Alexandrina



1194137



توزيع

مكتبة دار المعرفة

٤ شارع السرايات - أمام هندسة عين شمس ت: ٢٦٨٤٤٠٤٣

E-mail : dar_elmaarefa@yahoo.com